AIRCHAFT STRUCTURE

Elevator

Aileron

Rudder

XI

SEMESTER 3

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Didalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. BukuSiswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus **dilakukan** peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus **dilakukan** peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014

Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA

DAFTAR ISI

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Buku Teks Bahan Ajar Siswa Aicraft Structure ini digunakan sebagai buku sumber pada kegiatan belajar untuk pencapaian kompetensi siswa pada Mata Pelajaran Aircraft Structure, Sebagai Dasar Program Keahlian pada Kelompok Kejuruan Program Keahlian Teknologi Pesawat Udara Bidang Keahlian Teknologi dan Rekayasa.

Buku Teks Bahan Ajar Siswa Aircraft Structure terdiri atas 4 jilid buku. Buku Aircraft Structure 1 digunakan untuk pembelajaran Kelas XI semester 3. Pada buku jilid 1 ini dibahas materi belajar yang meliputi;

1. Konsep Umum Struktur Rangka Pesawat Udara *(Airframe Structure General Concept)* ,
2. Badan , Sayap ,Penyetabil dan Bidang kendali terbang pesawat udara *(Aircraft Fuselage, Wings, Stabilizer and Flight Control Surfaces)*
3. Rumah dan penutup mesin *(Engine Nacelles/pylon)*,
4. Perbaikan Struktur Rangka Pesawat Udara *(Airframe Structure Repair)*

Buku Teks Bahan Ajar Siswa Aircraft Structure disusun berdasarkan penguasaan konsep dan prinsip serta keterampilan teknis keahlian sehingga setelah mempelajari buku ini, siswa memiliki penguasaan pelaksanaan pekerjaan Perawatan Aircraft Structure.

B. Prasyarat

Kemampuan awal Siswa sebelum mempelajari Buku Teks Bahan Ajar Siswa "Aircraft Structure" yaitu siswa telah memiliki pengetahuan dan pemahaman tentang konsep gambar teknik, fisika , matematika dan aerodinamika.

C. Petunjuk Penggunaan

1. Petunjuk penggunaan bagi Siswa :

a. Siswa harus memahami mata pelajaran atau materi yang menjadi prasyarat pembelajaran modul ini, yaitu gambar teknik,fisika,matematika dan aerodinamika.
b. Lakukan kegiatan pembelajaran secara berurutan dari bab 1 ke bab berikutnya.
c. Pelajari dan pahami setiap uraian materi dengan seksama.
d. Lakukan kegiatan yang diberikan pada uraian materi pembelajaran. Kegiatan tersebut dirancang dalam bentuk; Eksplorasi, Diskusikan dan Simpulkan serta kegiatan Asosiasi.
e. Kegiatan praktik kejuruan dilaksanakan dalam bentuk latihan keterampilan, kerjakan latihan tersebut dibawah pengawasan guru.
f. Persiapkan alat dan bahan yang digunakan pada setiap pembelajaran untuk menyelesaikan tugas dan evaluasi hasil belajar
g. Lakukan setiap kegiatan dengan tekun, teliti dan hati-hati.
h. Jawablah soal evaluasi pada bagian Review secara individual

i. Jawablah soal evaluasi pada bagian penerapan dan diskusikan dikelas hasil jawaban tersebut.
j. Lakukan tugas proyek yang diberikan pada soal evaluasi bagian tugas proyek secara individu atau kelompok, lalu presentasikan dikelas hasil pelaksanaan tugas proyek tersebut.
k. Uji kompetensi kejuruan adalah tugas proyek individual untuk mengevaluasi capaian keterampilan siswa, kerjakan uji kompetensi sesuai petunjuk.
l. Siswa dinyatakan tuntas menyelesaikan materi pada bab terkait, jika Siswa menyelesaikan kegiatan yang ditugaskan dan menyelesaikan kegiatan evaluasi dengan nilai minimal sama dengan Kriteria Kelulusan Minimal (KKM).

2. Peran Guru:

a. Merencanakan kegiatan pembelajaran siswa selama satu semester sesuai silabus.
b. Membantu Siswa dalam merencanakan proses belajar
c. Membantu Siswa dalam memahami konsep dan praktik.
d. Memberikan motivasi, membimbing dan mengarahkan siswa dalam melakukan kegiatan yang diberikan pada uraian materi pembelajaran. Kegiatan tersebut dirancang dalam bentuk; Eksplorasi, Diskusi dan Asosiasi.
e. Menekankan, selalu mengecek dan memfasilitasi penggunaan K3 sesuai kegiatan yang dilaksanakan.
f. Memberikan contoh, memandu dan melakukan pengawasan pelaksanaan tugas siswa yang berkaitan dengan pembelajaran praktik di lab atau bengkel kerja.
g. Membantu Siswa untuk menetukan dan mengakses sumber belajar lain yang diperlukan untuk kegiatan pembelajaran.
h. Merencanakan seorang ahli/pendamping guru dari tempat kerja/industri untuk membantu jika diperlukan
i. Merencanakan proses penilaian dan menyiapkan perangkatnya
j. Memeriksa seluruh hasil pekerjaan siswa baik berupa hasil pelaksanaan kegiatan maupun jawaban dari evaluasi belajar.
k. Mencatat dan melaporkan pencapaian kemajuan Siswa kepada yang berwenang.

D. Tujuan Akhir

Hasil akhir dari seluruh kegiatan belajar dalam buku teks bahan ajar siswa ini adalah Siswa;

1) Menalar "*Airframe structures General concepts* ".
2) Merawat *Aircraft Fuselage*.
3) Merawat *Aircraft Wing ,Stabilizers and Flight Control Surfaces*
4) Merawat *Engine Nacelles/pylons*
5) Mampu melaksanakan airframe struktur repair
6) Mampu menggunakan alat ukur untuk keperluan perawatan struktur pesawat udara sesuai fungsi dan prosedur.
7) Mampu memilih perkakas tangan dan mekanik perawatan aircraft structure sesuai fungsi
8) Mampu menggunakan perkakas tangan dan mekanik perawatan aircraft structure sesuai SOP

E. Kompetensi Inti Dan Kompetensi Dasar

BIDANG KEAHLIAN : TEKNOLOGI DAN REKAYASA

PROGRAM KEAHLIAN : TEKNOLOGI PESAWAT UDARA

MATA PELAJARAN : AIRCRAFT STRUCTURE

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)	KOMPETENSI DASAR	
KI-1 Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya	1.1	Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan sebagai aturan dalam pekerjaan aircraft structure
	1.2	Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam pelaksanaan pekerjaan aircraft structure
KI-2 Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong	2.1	Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggungjawabdalam menerapkan aturan perawatan dalam pekerjaan aircraft structure
	2.2	Menghargaikerjasama, toleransi, damai, santun,

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)	KOMPETENSI DASAR
royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktif dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dan cara melakukan perawatan aircraft structure.
KI-3 Memahami,menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidangkerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.1 Memahami "*Airframe structures General concepts* "
	3.2 Menganalisis*Aircraft Fuselage*
	3.3 Menganalisis : *Aircraft Wing ,Stabilizers and Flight Control Surfaces*
	3.4 Memahami *Engine Nacelles/pylons*
	3.5Menerapkan*daily inspection*
	3.6. Mengevaluasi inspeksi dan *test* terhadap *safety belt* dan pemasangannya
	3.7 Memahami *A/C Servicing and Ground Handling*
KI-4 Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, bertindak secara efektif dan kreatif, dan mampumelaksanakantugasspesifik di bawahpengawasanlangsung.	4.1 Menalar "*Airframe structures General concepts* "
	4.2 Merawat *Aircraft Fuselage*
	4.3 Merawat *Aircraft Wing ,Stabilizers and Flight Control Surfaces*
	4.4 Merawat *Engine Nacelles/pylons*
	4.5 Melaksanakan *daily inspection*
	4.6 Melaksanakan inspeksi dan *test* terhadap *safety belt* dan pemasangannya
	4.7 Melaksanakan *A/C Servicing and Ground Handling*

F. Cek Kemampuan Awal

Berilah tanda silang (x) pada tabel dibawah ini, dengan pilihan "ya" atau "tidak" dengan sikap jujur dan dapatdipertanggungjawabkan untuk mengetahui kemampuan awal yang telah Kamu (Siswa) miliki.

No	Kompetensi Dasar	Pernyataan	Dapat Melakukan Pekerjaan Dengan Kompeten		Jika "Ya" Kerjakan
			Ya	Tidak	

<table>
<tr><th rowspan="2">No</th><th rowspan="2">Kompetensi Dasar</th><th rowspan="2">Pernyataan</th><th colspan="2">Dapat Melakukan Pekerjaan Dengan Kompeten</th><th rowspan="2">Jika “Ya” Kerjakan</th></tr>
<tr><th>Ya</th><th>Tidak</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">Menalar “Airframe structures General concepts “</td><td>Dapat menjelaskan berbagai jenis tegangan dalam struktur pesawat udara</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">Evaluasi Belajar Bab 2</td></tr>
<tr><td>Dapat menjelaskan konsep fail safe design dalam rancangan struktur pesawat udara</td></tr>
<tr><td>Dapat menjelaskan berbagai jenis tegangan dalam struktur pesawat udara</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">MerawatAircraft Fuselage</td><td>Dapat menjelaskan berbagai jenis struktur badan pesawat udara</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">Evaluasi Belajar Bab 3</td></tr>
<tr><td>Dapat melakukan fuselage structure repair</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">MerawatAircraft Wing ,Stabilizers and Flight Control Surfaces</td><td>Dapat menjelaskan berbagai jenis wing,stabilizer dan flight control surfaces</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">Evaluasi Belajar Bab 4</td></tr>
<tr><td>Dapat melakukan wing,stabilizer,flight control surfaces structure repair</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">Merawat Engine Nacelles/pylons</td><td>Dapat menjelaskan berbagai jenis engine nacelles/pylons</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">Evaluasi Belajar Bab 5</td></tr>
<tr><td>Dapat melakukan engine nacelles/pylon structure repair</td></tr>
</table>

BAB 2 FRAME STRUCTURE GENERAL CONCEPT

A Fail safe design

Jenis pesawat udara ditinjau dari cara menghasilkan gaya angkatnya ada dua jenis yaitu jenis pesawat udara bersayap tetap (fixed Wing aircraft) dan jenis pesawat udara bersayap putar (rotary wing aircraft). Struktur rangka untuk pesawat udara bersayap tetap secara umum terdiri dari 5 unit /bagian yaitu :

1)Fuselage , 2) Wings , 3)Stabilizer , 4)Flight Control Surface , 5)Landing Gear.

Struktur rangka untuk pesawat udara bersayap putar secara umum terdiri dari 4 unit / bagian , yaitu : 1)Fuselage , 2)Main rotor and related gearbox, 3)Tail rotor ,4)Landing Gear.

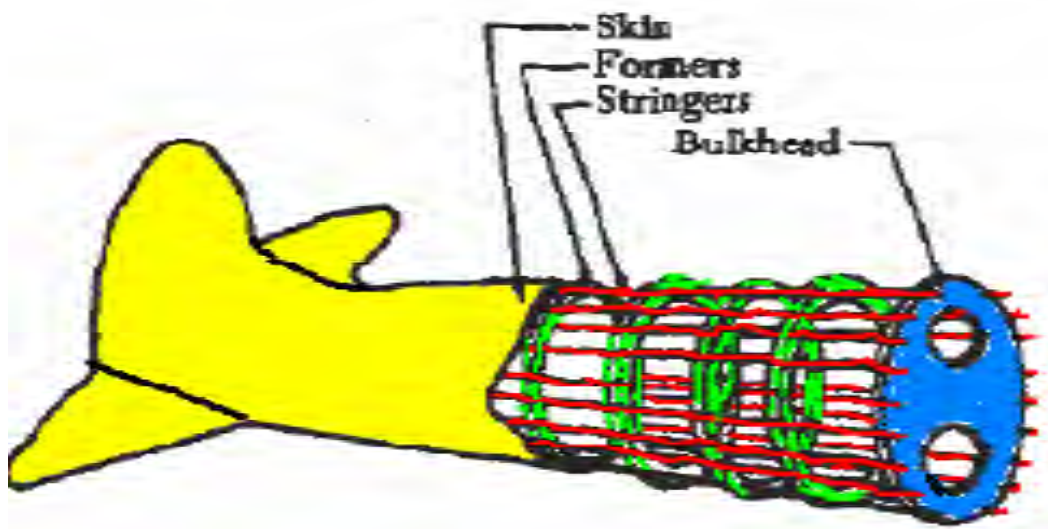
Komponen-komponen rangka pesawat udara dibuat dari beberapa jenis material dan digabungkan antara satu komponen dengan komponen yang lainnya dengan beberapa cara , antara lain menggunakan :

1. Rivets
2. Bolts
3. Screws
4. Welding
5. Adhesives

Komponen rangka pesawat disusun oleh beberapa bagian komponen yang lebih kecil (parts) yang disebut *structural members* antara lain : stringers, longeron , ribs , bulkheads, dsb.

Gbr.1 . Pesawat Udara bersayap tetap (Fixed Wing)

Gbr.2. Pesawat Udara bersayap berputar (Rotary Wing)

Perbedaan apa saja yang bisa
Anda jelaskan tentang pesawat
Fixed wing dan rotary wing ?

Gbr.3. Komponen rangka pesawat udara

Rangka pesawat udara (aircraft structure) dirancang untuk dapat menahan beban dan berbagai tegangan yang terjadi . Prinsif rancangan struktur rangka pesawat udara yang diterapkan adalah *Fail Safe Design* Concept artinya konsep rancangan yang aman yang meminimalis terhadap kegagalan, baik kegagalan fungsi maupun operasi. Konsep rancangan aman walaupun ada kegagalan (fail-safe design concept) merupakan konsep dasar gagasan sistem keselamatan yang mempelajari dan mempertimbangkanefek darikegagalandan kombinasikegagalandalam membuatdesain struktur pesawat udara yang aman. Konsep inimemiliki arti yang berbedauntukstrukturdarisistem "gagal-aman" yang berkaitan dengankekuatan sisasetelah mengalamikerusakan.Prinsip "gagal-aman " untuk sistemberkaitan denganimplikasifungsionaldarikondisikegagalan danprobabilitasterjadinya kegagalan tersebut. Meskipun keduakonsepmemiliki tujuan yangsamayaitu " desain-aman " namunpendekatan untukmencapai tujuannyayang berbeda.

Secara umum,komponen-komponenstrukturaldari pesawat seperti badan pesawatdan sayap,dirancang sedemikian rupa sehingga"evaluasi kekuatan, detail desain, dan fabrikasiharus menunjukkan bahwabencana kegagalankarena kelelahan, korosi, cacatmanufaktur, ataukerusakan akibat kecelakaan,akandihindarisepanjang hidupoperasionalnyapesawat. Namun,ada contoh kejadian setelah 1988AlohaAirlinesdengan penerbangan243mengalami kecelakaan, di mana18kakidarikulitbagianatas cockpit danstrukturnyaterpisah daribadan pesawat, setelah terjadinyatekanan yang lebih besar melebihitoleransi kerusakan yang sudah dirancang. Evaluasitoleransi kerusakanstrukturmemastikan bahwa: kelelahanserius, korosi, ataukerusakan akibat kecelakaan, terjadi dalamtujuanlayanan desaindari pesawat, struktursisaharus dapat menahan bebanyang wajartanpa kegagalanatau deformasistrukturalyang berlebihansampai kerusakanterdeteksi.

Konsep design "gagal-aman" untuk sistem memperlakukan kegagalan yang berbeda. Kegagalan, sebagaimana didefinisikan dalam AC 25.1309-1A dan Society of Automotive Engineers (SAE) ARP4761 adalah hilangnya fungsi atau kerusakan sistem, dan

berbeda dari modus kegagalan, yang merupakan cara terjadinya kegagalan dalam item . Intinya adalah pada pemahaman makna fungsional dari sistem pesawat, menentukan risiko terhadap keselamatan penerbangan terkait dengan kondisi kegagalan, dan menggunakan distribusi probabilitas untuk menentukan frekuensi terjadinya kondisi kegagalan dan dampaknya pada fungsi sistem secara keseluruhan. Tujuan dari konsep desain "gagal-aman" untuk sistem adalah untuk memenuhi tujuan desain yang tercantum dalam 14 CFR 25.1309 berikut:

"Sistem pesawat dan komponen yang terkait, dianggap secara terpisah dan dalam hubungannya dengan sistem lain, harus dirancang agar terjadinya kondisi kegagalan yang akan mencegah penerbangan yang aman terus dan pendaratan pesawat tersebut sangat tidak mungkin, dan terjadinya kegagalan lainnya yang kondisinya yang akan mengurangi kemampuan pesawat atau kemampuan kru untuk mengatasi kondisi operasi yang merugikan adalah tidak mungkin. "

Peraturan tersebut juga menetapkan bahwa informasi peringatan tentang kondisi kegagalan diberikan kepada kru sehingga mereka dapat mengambil tindakan koreksi yang tepat. Dua tujuan desain ini memberikan dasar untuk praktik standar sertifikasi pesawat dan membangun pendekatan yang akan digunakan untuk menentukan kepentingan relatif dan tingkat keparahan dari kondisi kegagalan sistem.

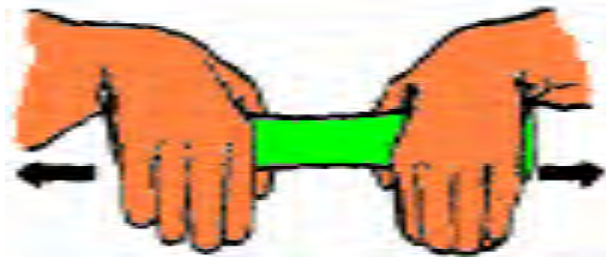
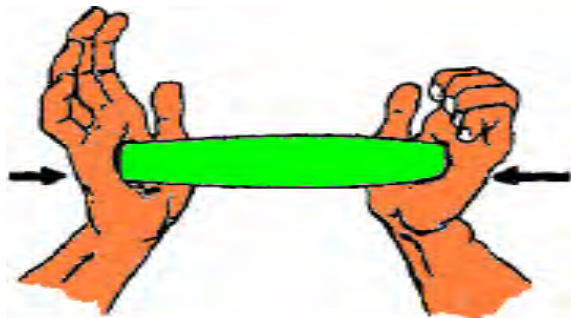
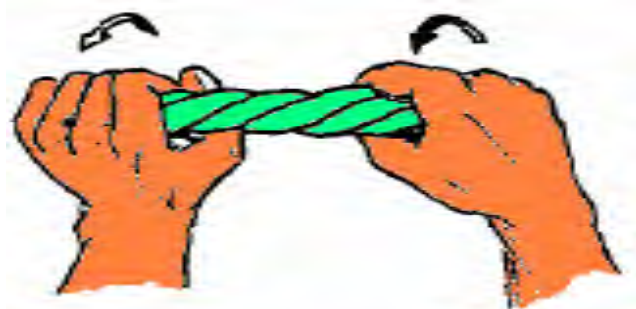
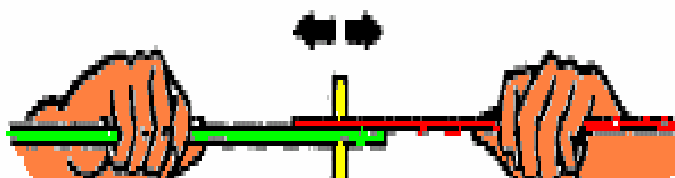
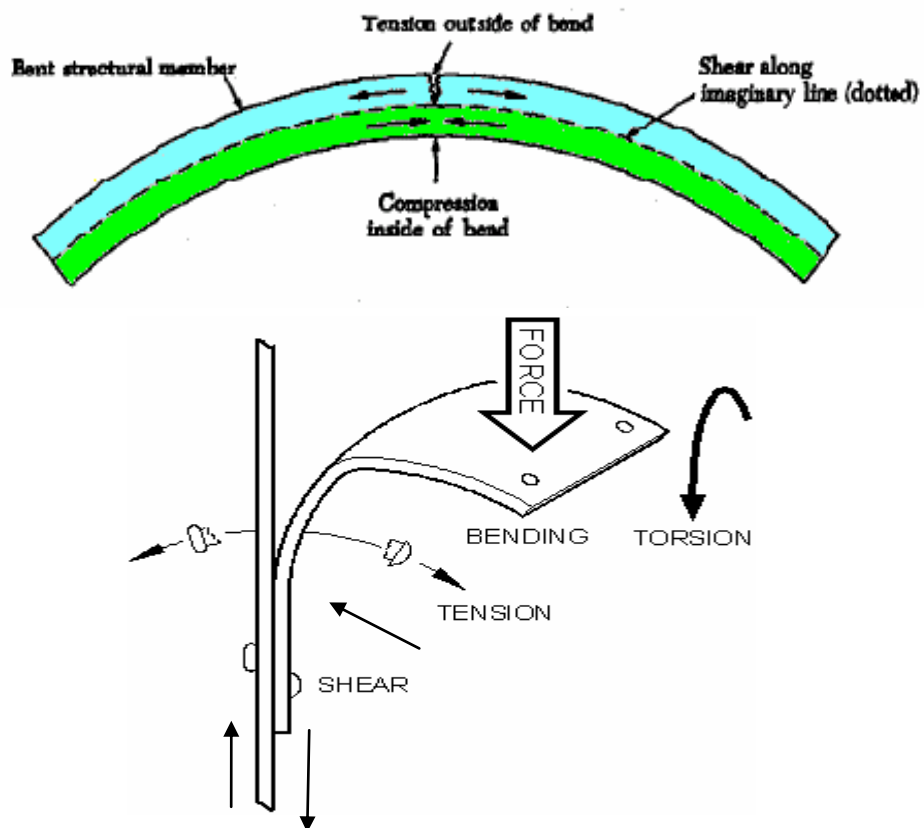
B Tegangan dalam struktur pesawat udara (structural stress)

Ada 5 tegangan utama yang terjadi dalam struktur pesawat udara yaitu :

1. Tension stress (tegangan tarik)

2. Compression stress (tegangan tekan)
3. Torsion stress (tegangan puntir)
4. Shear stress (tegangan geser / gunting)
5. Bending stress (tegangan bengkok)

Sebagai ilustrasi perhatikan gambar disanping berikut :

a) Tension Stress

b) Compression Stress

c) Torsion Stress

d) Shear Stress

e) Bending (the combination stress**)**

f) Ilustrasi gabungan tegangan

Gbr.4. a,b,c,d,e ,f Macam-macam tegangan (stress)

Istilah " Stress " sering digunakan dengan istilah atau kata lain yaitu "strain". Stress adalah suatu gaya dari dalam (internal force) pada sebuah substansi yang bersifat melawan atau menahan deformasi (perubahan bentuk). *Strain* adalah deformasi atau perubahan bentuk suatu material atau substansi. *Stress* adalah gaya dari dalam yang dapat menyebabkan strain.

EVALUASI BAB I

Lengkapilah pernyataan-pernyataan dibawah ini dengan benar !

1. Airframe untuk pesawat udara jenis fixed wing secara umum terdiri dari …
2. Airframe untuk helicopter secara umum terdiri dari …
3. Beberapa cara untuk menyambung material / komponen rangka pesawat udara yaitu dengan menggunakan ….
4. Tegangan yang terjadi pada permukaan atas sayap pesawat , saat terbang adalah … .
5. Tegangan yang terjadi pada permukaan bawah sayap pesawat , saat terbang adalah ... .
6. Tegangan yang terjadi pada permukaan bawah sayap pesawat , saat di ground adalah ... .
7. Tegangan yang terjadi pada permukaan atas sayap pesawat , saat di ground adalah … .
8. Kombinasi tegangan tarik dan tekan disebut ….
9. Tegangan yang arahnya berlawanan , yang terjadi pada sambungan pelat struktur pesawat disebut … .
10. Pernyataan yang benar diantara pernyataan berikut adalah …
    a. stress yang diterima oleh structure pesawat makin ke atas makin kecil / lemah
    b. stress yang diterima oleh structure pesawat di sea level dan sembarang ketinggian sama
    c. stress yang diterima oleh permukaan sayap atas dan bawah adalah sama
    d. stress yang diterima oleh structure pesawat makin ke atas makin besar /kuat.
    e. Tekanan di dalam dan di luar cabin pesawat di semua ketinggian sama
11. Jelaskan menurut Anda pengertian *fail safe design* !

BAB 3

. AIRCRAFT FUSELAGE,WINGS, TA STABILIZER , FLIGHT CONTROL SURFACES DAN ENGINE NACELLE

AIRCRAFT FUSELAGE

Fuselage adalah struktur utama pesawat udara yang disebut “body” atau badan. Dalam fuselage tersebut tersedia ruang untuk : barang (*cargo*) , pengendali (*control*) atau istilah lain adalah *cockpit* , perlengkapan (*accessories*) , penumpang (passengers) istilah lainnya adalah *cabin* dan ruang perlengkapan lainnya.

Secara umum konstruksi fuselage dikelompokkan menjadi 2 yaitu : 1. Truss type dan 2. Monocoque type.

TRUSS TYPE

Rangka fuselage jenis truss biasanya dibuat dari pipa baja yang di las (welded) satu sama lain. Dalam beberapa pesawat udara agar lebih ringan, rangka truss dibuat dari alumunium paduan (aluminum alloy) yang dirangkai dengan cara di-rivet atau di-baud antara satu bagian dengan bagian lainnya.Untuk menambah kekuatan diberikan penguat silang menggunakan batang atau pipa padat. Sebagai kulit penutup atau skin dari konstruksi truss type secara umum digunakan kain (fabric) yang dilekatkan pada pipa-pipa tadi diikatkan dengan benang, kemudian dilapisi dengan dope. Dope ini adalah bahan kimia yang berfungsi sebagai bahan penegang kain, pengawet dan pengedap air. Pesawat udara yang menggunakan konstruksi truss adalah pesawat-pesawat kecil seperti pesawat experimental, pesawat swayasa, pesawat latih yang tidak diperuntukan membawa penumpang dalam jumlah banyak.

Konstruksi ini mempunyai kelemahan yaitu:

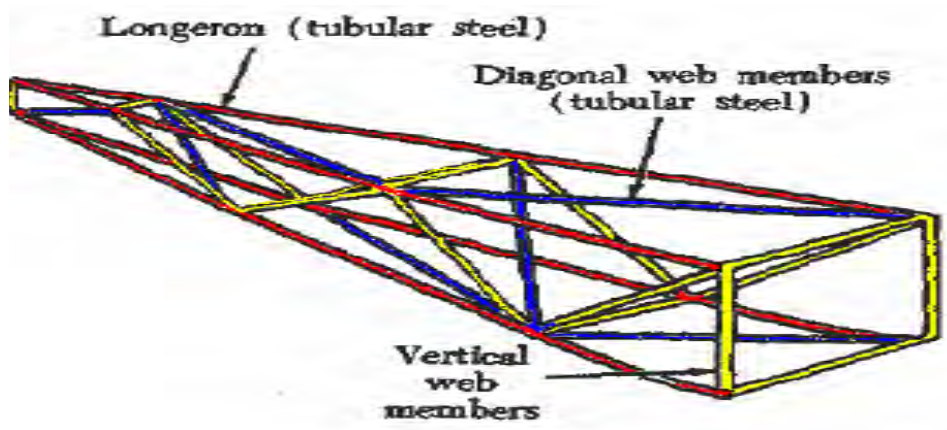
-Konstruksi tidak kuat

-Daya angkut minim

-Maintenancenya sulit

Adapun kelebihannya yaitu:

-Konstruksi mudah

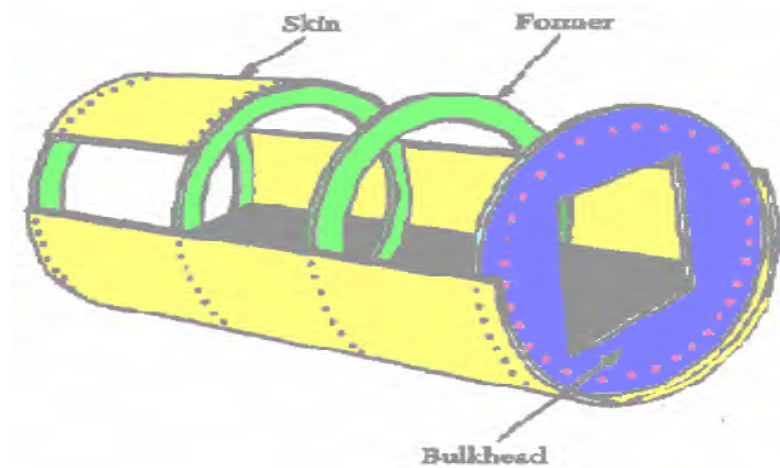
Sebagai contoh, pesawat terbang yang mempergunakan konstruksi kerangka pipa, adalah PIPER L-4J, Belalang, Sikumbang , Pesawat terbang ciptaan dan buatan bangsa indonesia pada waktu LAPIP (Sebelum LIPNUR dan PT NURTANIO)

NU-85 Belalang

Sikumbang

Gbr.5 Pesawat dengan kontruksi truss type

MONOCOQUE TYPE

Kelompok monocoque type dibagi dalam 3 jenis , yaitu :

1. Full Monocoque
2. Semi Monocoque
3. Reinforce Shell

PZL-Okecie PZL-104 Gelatik, IN-039, Indonesian Air Force

Gbr.6. Konstruksi Full Monocoque

Konstruksi *Full Monocoque* (gbr. 6) terdiri dari : ***formers, bulkhead*** keduanya sebagai pemberi bentuk fuselage, ***skin*** sebagai penahan tegangan utama. Dalam konstruksi full monocoque tidak diberikan penguat lainnya,sehingga skin harus kuat dan kokoh. Konstruksi *full monocoque* atau disebut juga sebagai konstruksi *single shell* tersebut seperti konstruksi kulit telor, dan konstruksi tersebut banyak digunakan pada pesawat udara era pendahulu.

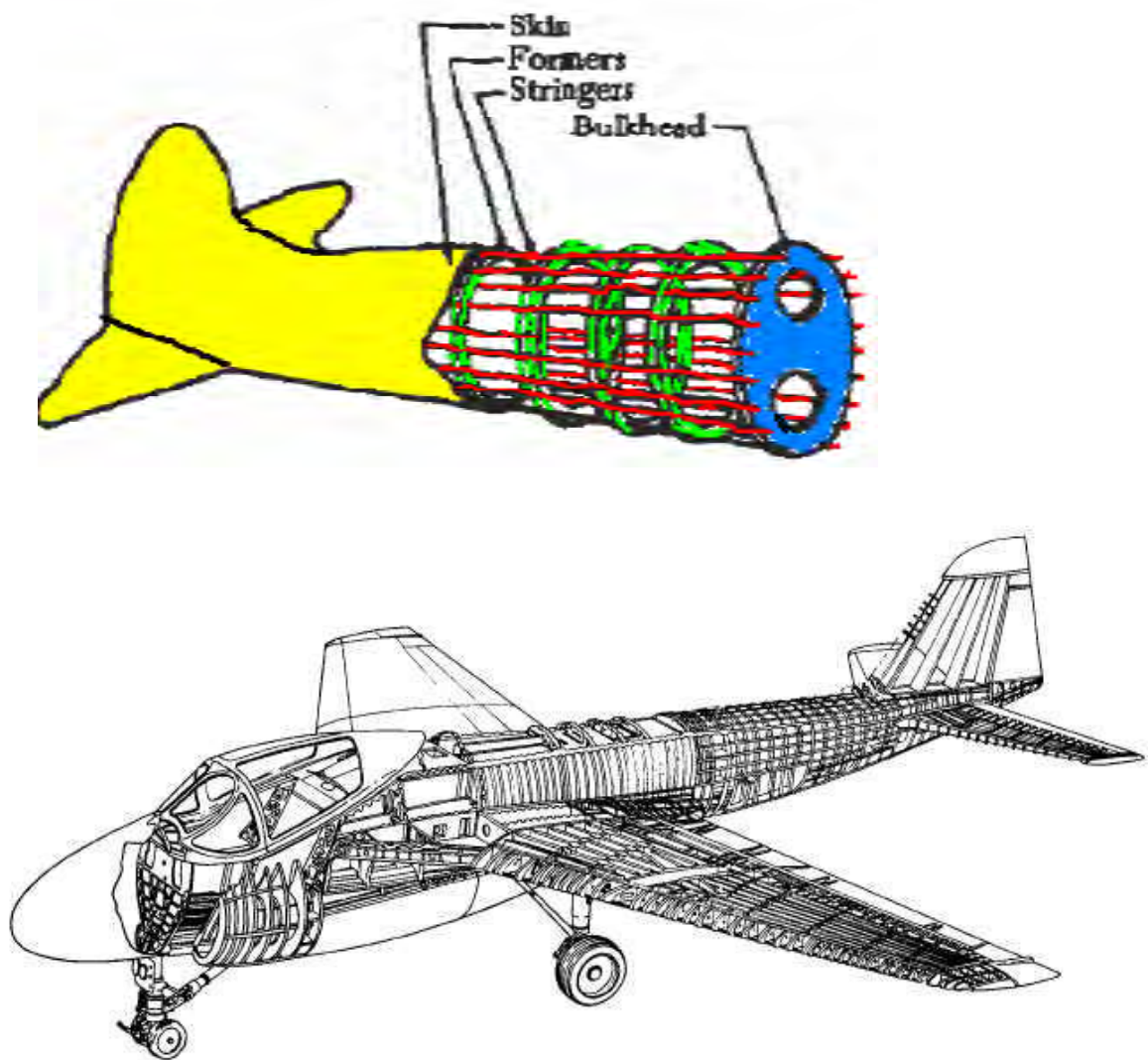
Konstruksi monocoque adalah suatu konstruksi dimana gaya-gaya/beban yang timbul diterima dan disebarkan keseluruh kulit pesawat terbang (Skin), sehingga kulit pesawat terbang disebut *fully stressed skin* atau kulit yang menerima gaya-gaya/beban-beban secara penuh. Kulit pesawat ini di tempelkan dengan paku keling (Rivet) atau dilem (Radux) pada rangka-rangka aluminium alloy.

Pada konstruksi monocoque ini biasanya kulit pesawat terbang dibuat bergelombang (Corrugated), untuk menambah kekuatan dan kekompakan kulit agar dapat mampu menerima gaya/beban yang timbul, biasanya konstruksi monocoque ini dipergunakan pada pesawat terbang kecil (Light aircraft), karena makin besar ukuran pesawat terbang makin besar pula gaya/beban yang harus diterima oleh seluruh pesawat terbang, sebagai contoh pesawat terbang yang mempergunakan konstruksi full monocoque adalah pesawat terbang GELATIK PZL-104, Pada konstruksi full monocoque bulkhead berfungsi sebagai pembentuk penguat badan pesawat terbang yang besar, yang menerima gaya beban yang besar, biasanya rangka utama adalah pesawat terbang yang dihubungkan dengan bagian-bagian utama yaitu:

-Sayap

-Roda pendarat

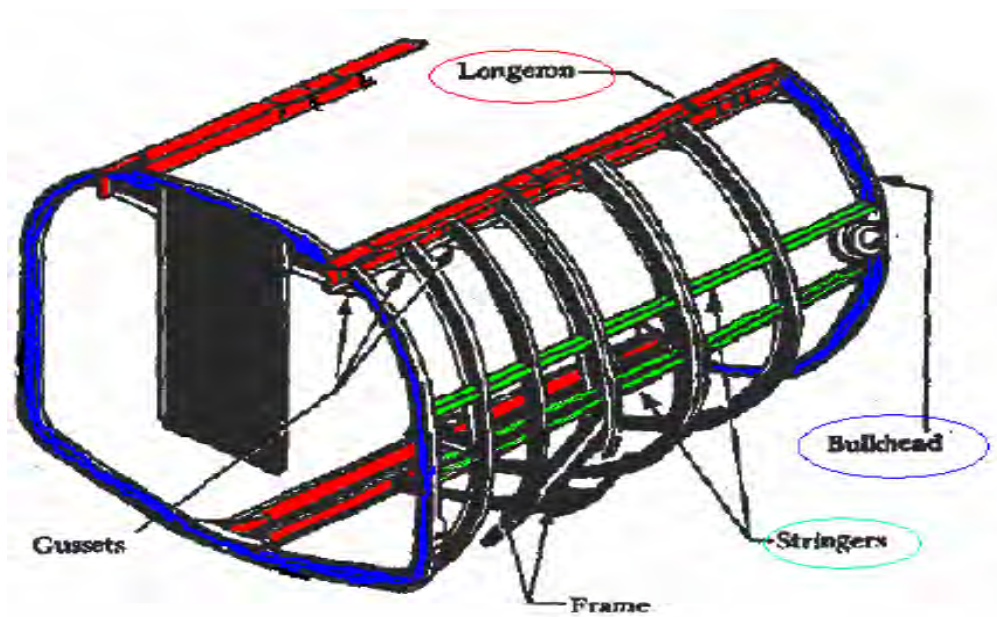
Sedang ring dan former berfungsi sebagai pembantu pembentuk badan pesawat, yang mana bentuk dari ring atau former tersebut harus aerodinamis supaya dapat mengurangi gaya hambat (drag). Dengan bentuk yang aerodinamis mengikuti pola airfoil

maka udara yang melewati struktur badan pesawat akan stream line. Selanjutnya skin dipasangkan pada former dengan cara dirivet.

Gbr.7. Konstruksi Semi Monocoque

Konstruksi Semi monocoque terdiri dari : Formers, bulkheads,longeron , stringers, skin. Konstruksi semi monocoque sebagian besar dibuat dari aluminum alloy, magnesium alloy, serta sebagian kecil dibuat dari steel dan titanium untuk daerah temperature tinggi.

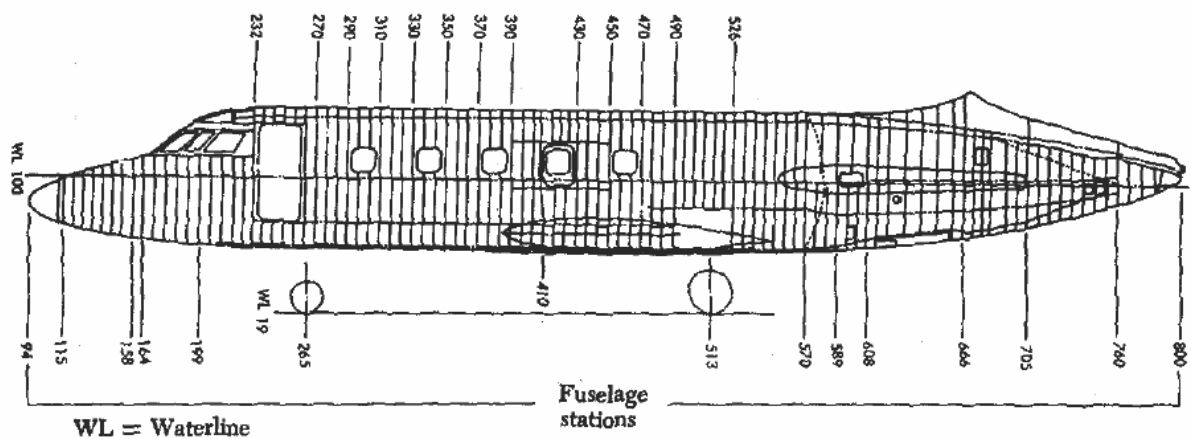
Konstruksi reinforced cell pada dasarnya sama dengan semi monocoque terdiri dari : Formers, bulkheads,longeron , stringers, skin.Kelebihannya dalam konstruksi reinforced cell memiliki skin yang dikuatkan oleh komponen-komponen struktural yang lebih lengkap.

Longeron dengan stringer merupakan komponen longitudinal (memanjang searah sumbu longitudinal), perbedaannya longeron lebih besar dan lebih berat dari pada stringer.

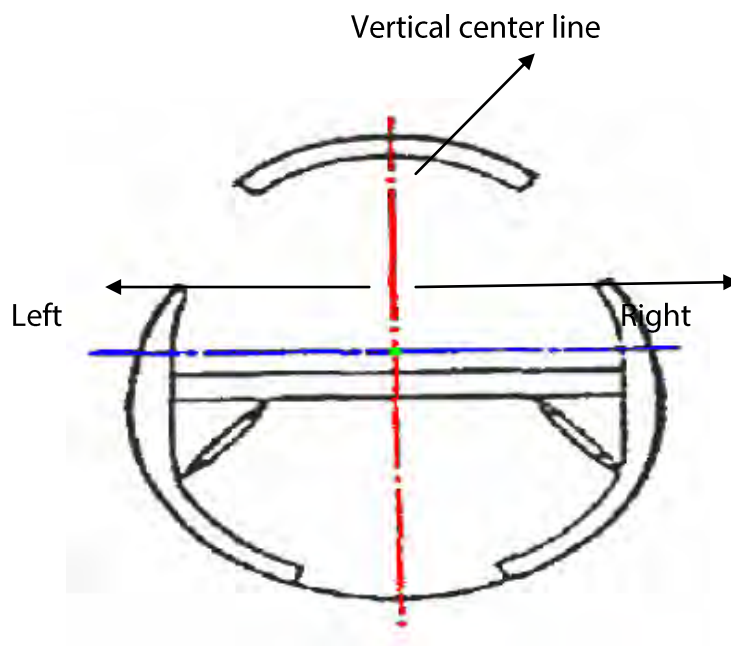
Bulkheads, frames dan formers merupakan komponen vertical dalam struktur fuselage.

Gbr.8. Konstruksi Reinforce Shell

LOCATION NUMBERING SYSTEMS

Location numbering systems adalah sistem penomoran/pengukuran lokasi yang diukur dari referensi atau patokan tertentu dari bagian struktur pesawat.

Location numbering system bermanfaat untuk membantu mekanik dalam mencari letak dan posisi suatu komponen pesawat udara untuk keperluan perawatan dan perbaikan.

Gbr. 9. Fuselage Station

Location numbering system dibagi dalam beberapa metoda yaitu :

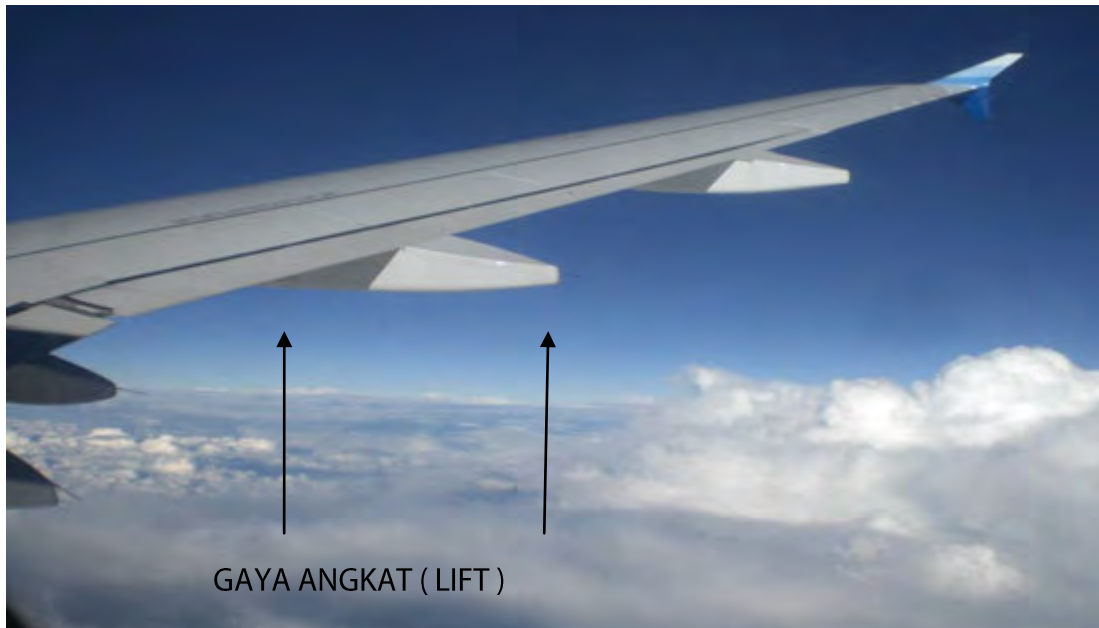
1. Fuselage Station (FS) adalah pengukuran dalam inchi (in) dari suatu referensi atau zero point yang disebut datum. Datum untuk fuselage station adalah bidang vertical imaginer pada hidung (nose) pesawat udara sebagai titik nol. Fuselage station disebut juga body station (BS).
2. Buttock line atau Butt line (BL), cara pengukuran kearah lebar , ke kiri atau ke kanan dengan acuan garis tengah vertical (vertical center line) dari badan pesawat udara.
3. Water line (WL) adalah pengukuran kearah tinggi secara tegak lurus dengan acuan bidang horizontal dibawah pesawat udara.
4. Aileron Station (AS) adalah pengukuran kearah luar (outboard) dari dan parallel terhadap sisi dalam (inboard) aileron dan tegak lurus terhadap rear beam/spar dari sayap.
5. Flap Station (FS) adalah pengukuran secara tegak lurus terhadap rear beam sayap dan parallel terhadap outboard flap, diukur dari sisi inboard flap tersebut.
6. Nacelle Station (NS) adalah pengukuran kearah depan atau samping dari spar depan sayap (front spar) , tegak lurus terhadap water line.

Gbr.10. Buttock Line

Gbr. 11. Water line (WL)

SAYAP PESAWAT UDARA (AIRCRAFT WING)

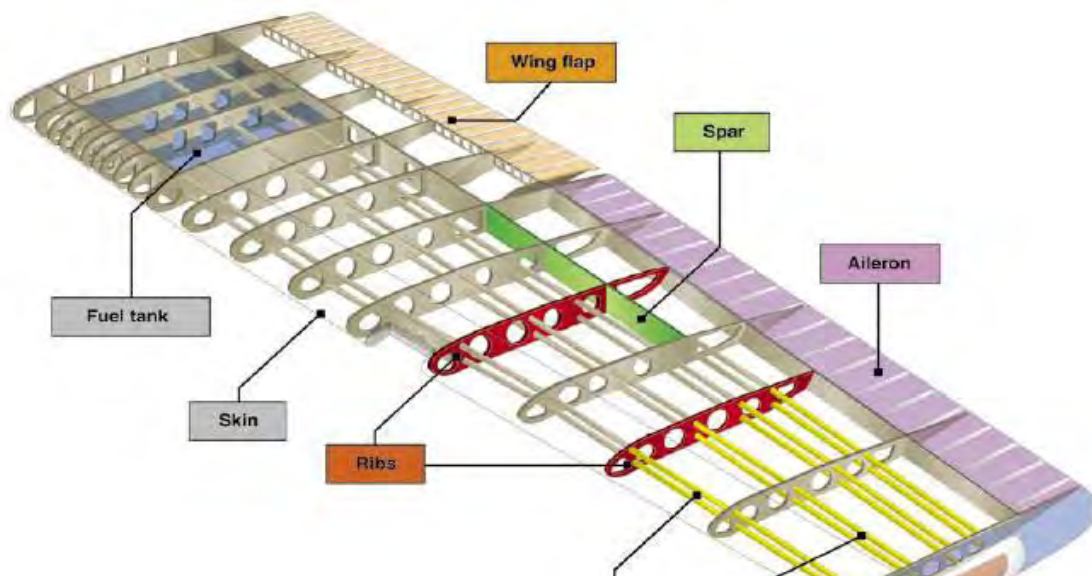
Wing di sebuah pesawat udara merupakan sebuah bidang yang dirancang untuk menghasilkan gaya angkat (Lift) saat bergerak dengan cepat di udara. Rancangan sayap pesawat udara ada yang menggunakan penyangga luar (external bracing) seperti : batang(struts) , kabel (cabel),kawat (wires) dsb. Dan untuk era sekarang ini rancangan sayap pesawat sudah tidak menggunakan penyangga luar (no external bracing).

Perhatikan gambar sayap di bawah ini !

A. Rancangan sayap dengan penyangga luar (external bracing)

B.Rancangan sayap tanpa penyangga luar (no external bracing)

Gbr.12 A dan B .Sayap sebagai penghasil gaya angkat (lift)

Struktur utama dari sayap terdiri dari :

1. Spar
2. Rib / bulkhead
3. Stringer
4. Skin

Gbr.13.Komponen struktur sayap (wing)

Untuk keperluan inspeksi dan perawatan didalam konstruksi sayap dibuat berbagai acces door yang posisinya di permukaan bawah(lower surface) dari sayap tersebut , serta dibuat juga lubang pembuangan (drain holes) untuk fluida. Kemudian dimasing-masing permukaan bawah sayap dibuat jacking point (titik tempat mendongkrak) pesawat. Wing station 0 (zero) lokasinya pada garis tengah fuselage, dan pengukuran semua wing station mulai dari wing station 0 ke arah luar (outboard), dalam satuan inchi.

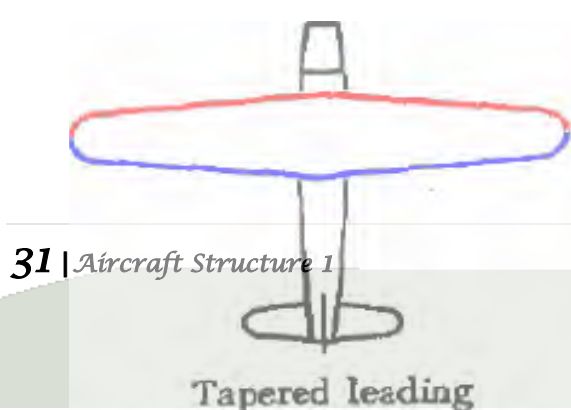
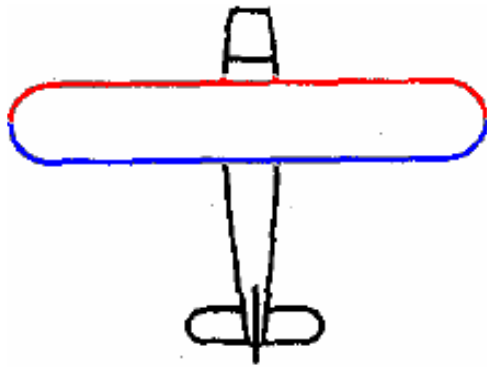
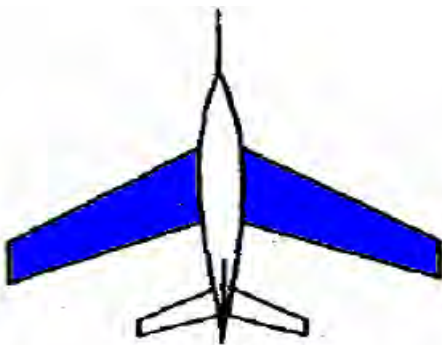
Secara umum konstruksi sayap pada dasarnya dibagi dalam 3 rancangan yaitu : 1. Monospar , 2.Multi-spar , 3. Box beam.

Sayap Monospar terdiri dari satu komponen longitudinal utama (spar)yang dipasang ,dan rib atau bulkhead yang memberikan bentuk dan kontur dari sayap tersebut. Sayap Multi-spar terdiri lebih dari satu komponen longitudinal utama (spar) yang dipasang, dan untuk memberikan bentuk dan kontur sayap tersebut maka rib atau bulkhead dipasang.

Jenis sayap Box-Beam konstruksinya menggunakan 2 (dua) komponen longitudinal utama (spar), dan rib atau bulkhead sebagai pemberi bentuk sayap tersebut.

BENTUK—BENTUK SAYAP

Berdasarkan karakteristik kebutuhan terbang , sayap pesawat udara dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran , perhatikan gambar 14 dan 15.

A

Straight leading and
trailing edges

G-BYPR

B

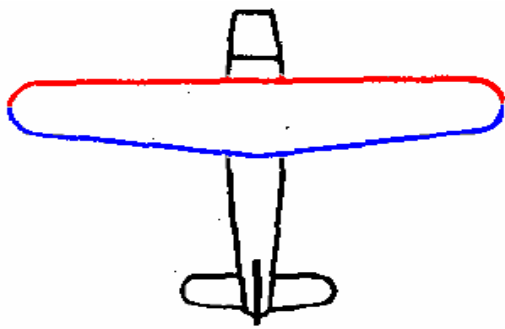
Delta wing

C

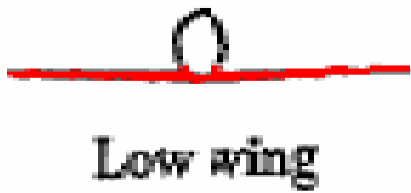
Sweptback
wings

American

D

E. Swept forward wings

F.

G. Geometric Wings

Gbr.14.A,B,C,D,E,F dan G Macam-macam bentuk sayap

A

B

C

D

E

Gbr.15.A,B,C,D,E Macam-macam cara pemasangan sayap terhadap fuselage

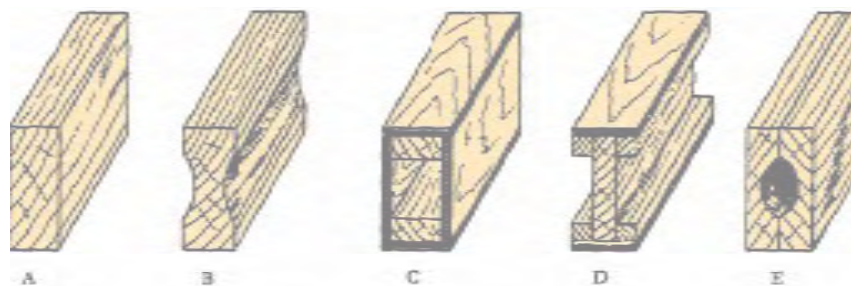
WING SPAR

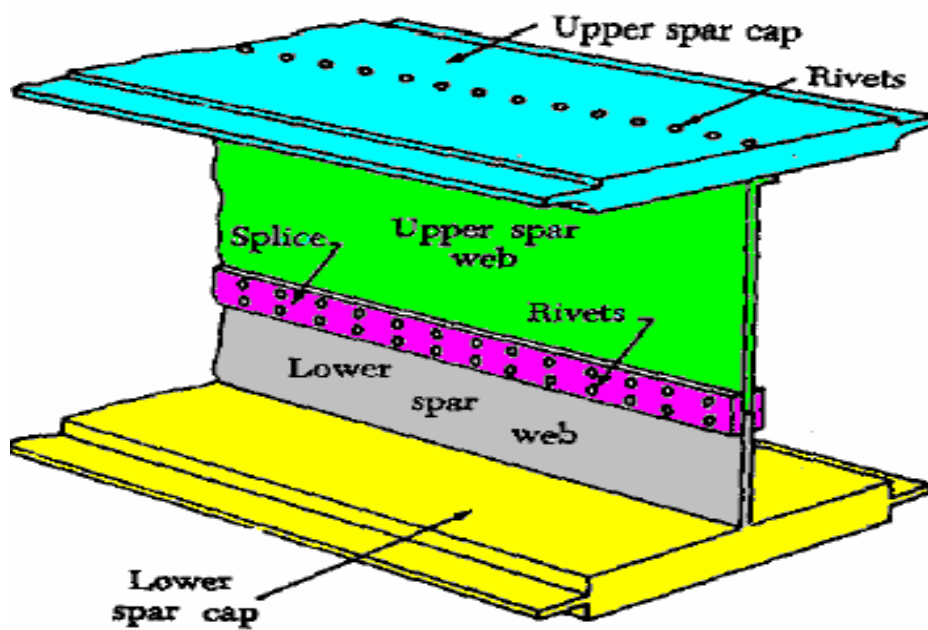
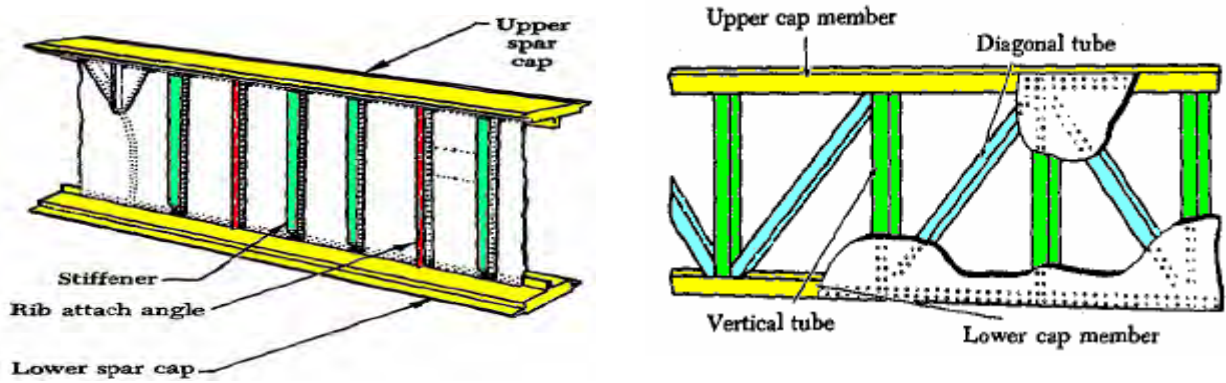
Spar adalah bagian struktur utama sayap yang memanjang parallel terhadap sumbu lateral , tempat pemasangan rib. Perhatikan gambar 16!

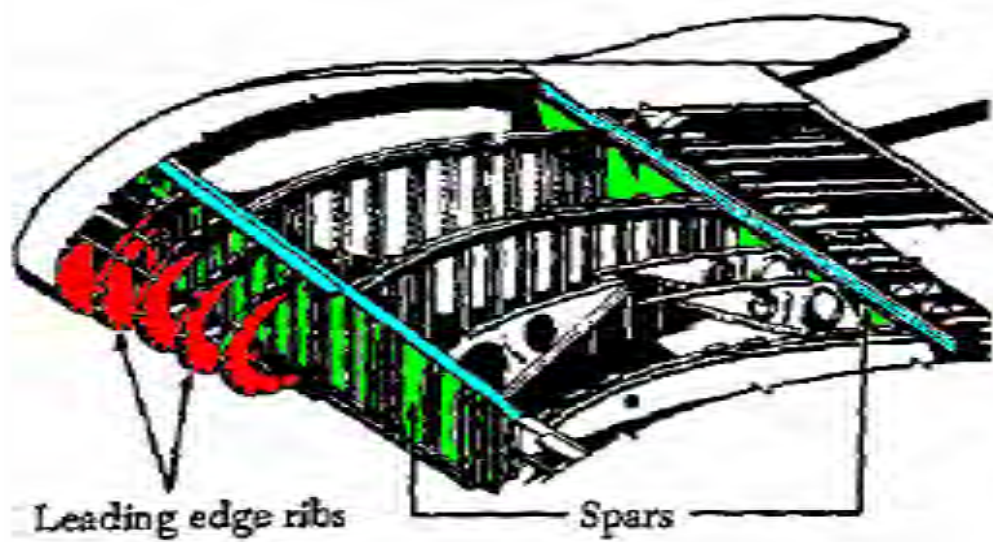
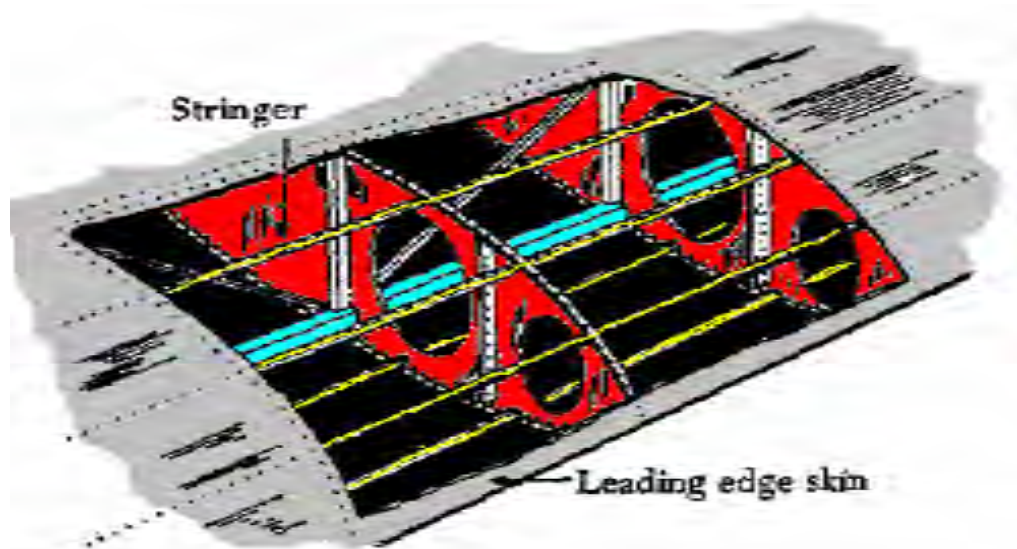
Spar dibuat dari bahan metal atau kayu tergantung criteria rancangan pesawat yang diinginkan.

Sebagian besar pesawat menggunakan spar dari bahan *solid extruded aluminum* atau *short aluminum extrusion* . Spar dari kayu secara umum digolongkan ke dalam lima (5) jenis atau bentuk yaitu :

1. Partly hollow
2. Box
3. Solid atau laminated
4. Rectangular
5. I-beam

Perhatikan gambar 16 !

Spar jenis kayu

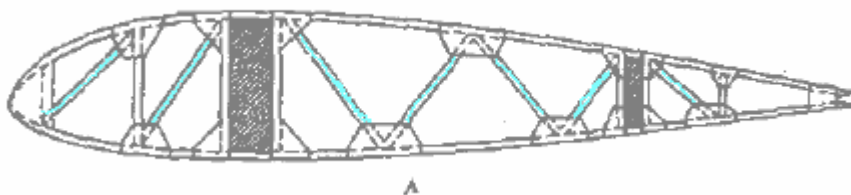
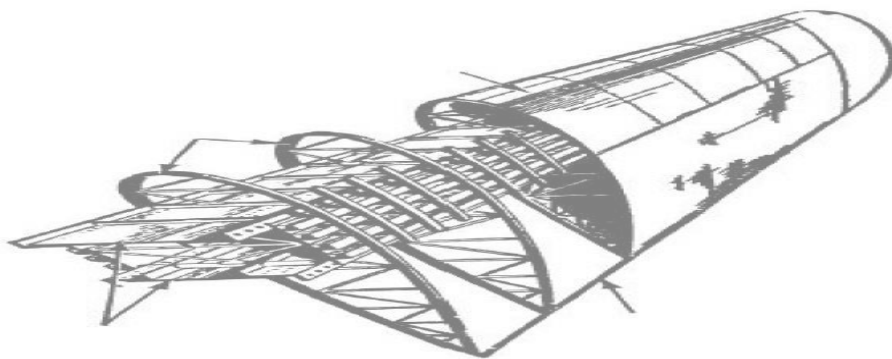
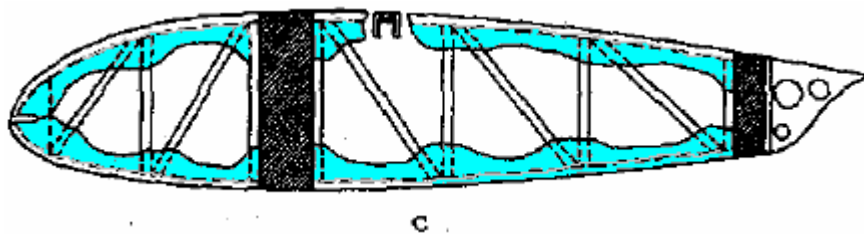
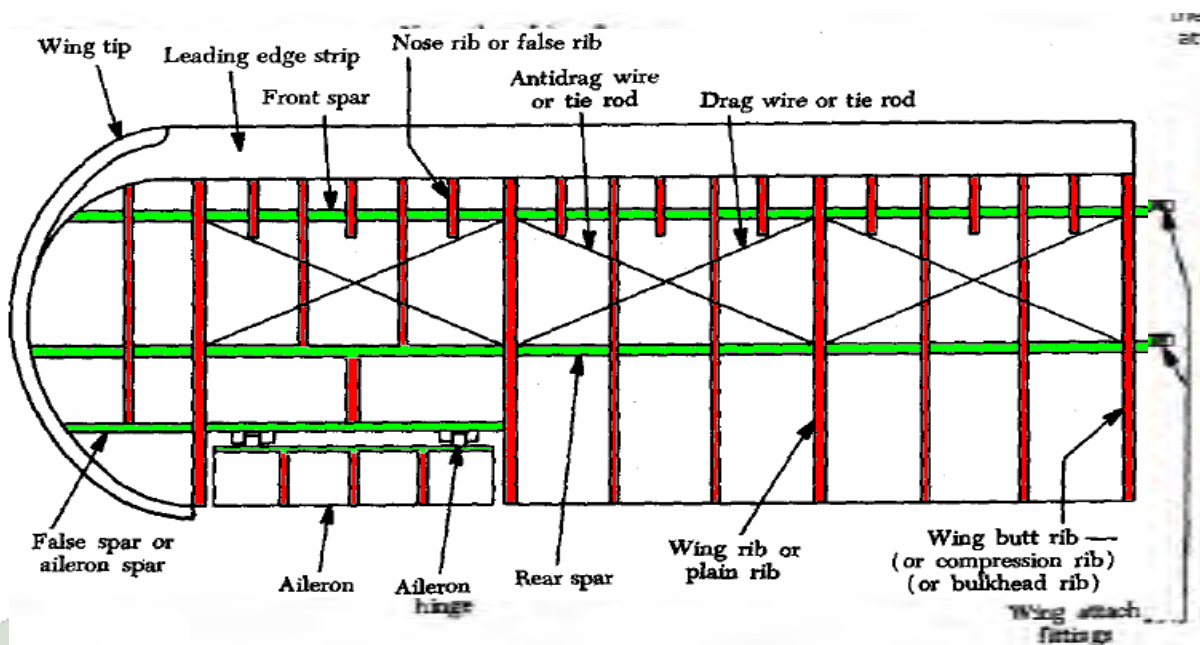
Spar dari metal

Bagian-bagian spar

Gbr.16. Bentuk-bentuk spar

A

B

Gbr. 17. A,B Konstruksi spar dalam sayap

WING RIB

Rib adalah struktur sayap yang berbentuk airfoil , yang memberi bentuk lengkung (cambered) terhadap sayap tersebut.Rib dipasang pada spar depan dan spar belakang. Spar menerima beban dari skin dan stringer dan beban tersebut disalurkan ke spar. Selain di sayap rib juga dipasang di aileron, elevator , rudder dan stabilizer. Perhatikan gambar 18 dan 19 !

Secara umum jenis rib dari bahan kayu dibuat dari : *plywood web, lightened plywood web, truss type.*

Gbr.18 A,B,C Airfoil Ribs

Gbr.19. Konstruksi Ribs dan spar

C AIRCRAFT STABILIZER

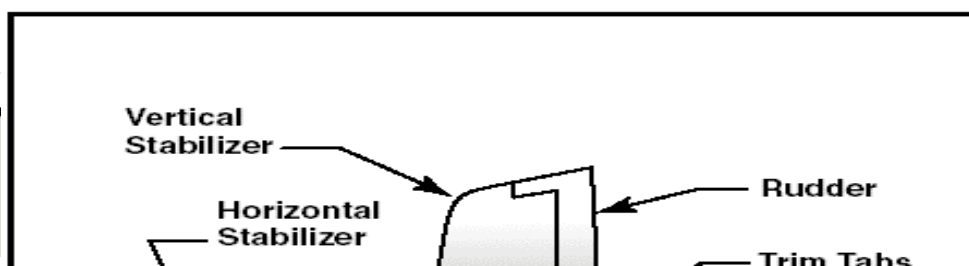
Bidang-bidang untuk menstabilkan sebuah pesawat udara terdiri dari bidang airfoil *vertical* dan bidang airfoil *horizontal* , yang keduanya disebut *vertical stabilizer* atau FIN dan *horizontal stabilizer.*

Dibidang vertical stabilizer dipasang bidang control yang disebut *rudder*, dan dibidang horizontal stabilizer dipasang bidang control yang disebut *elevator.*

Untuk keperluan inspeksi dan perawatan , bagian ekor pesawat tersebut dikelompokkan dalam satu unit yang disebut *empennage.*

Fungsi utama dari bidang stabilizer adalah untuk menjaga pesawat udara agar selalu dalam kondisi terbang lurus dan mendatar (straight and level flight).

Vertical stabilizer menjaga stabilitas pesawat udara dengan tumpuan sumbu vertical (vertical axis), yaitu untuk mempertahankan stabilitas arah (directional stability). Vertical stabilizer sebagai bidang tempat pemasangan *rudder.*

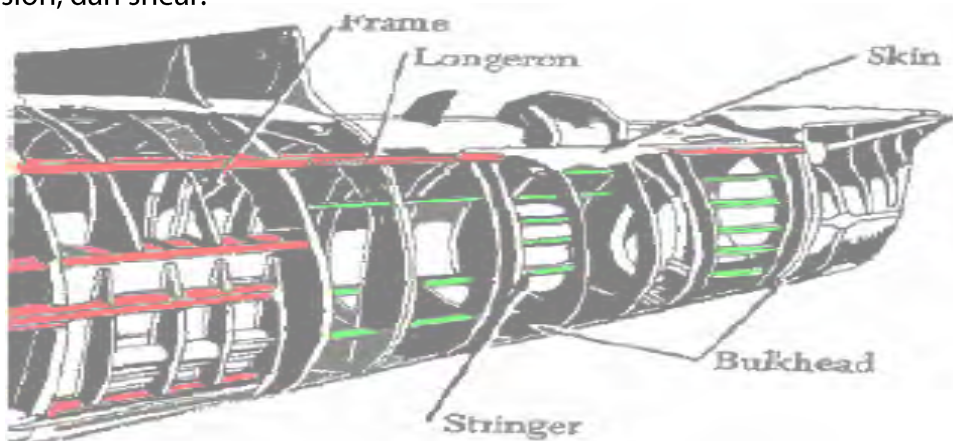
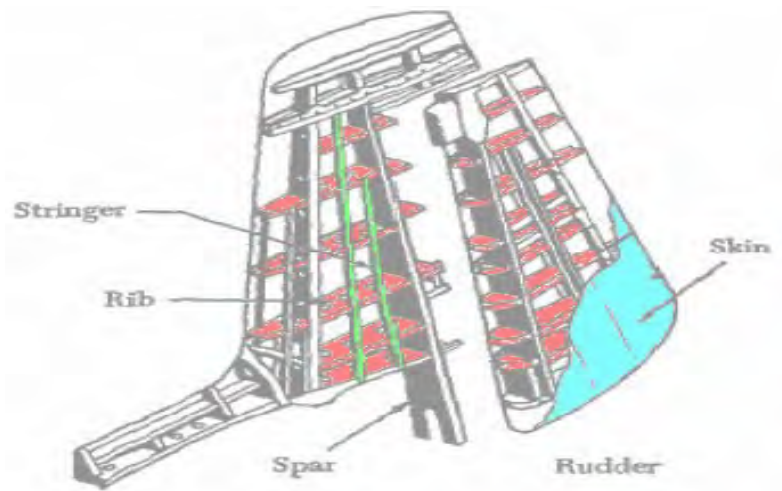
Horizontal stabilizer menjaga stabilitas pesawat udara dengan tumpuan sumbu lateral (lateral axis) yaitu untuk mempertahankan longitudinal stability. Horizontal stabilizer sebagai bidang tempat pemasangan *elevator.*

Gbr. 20 Stabilizer

EMPENAGE

Empenage disebut juga tail section , sebagian besar pesawat udara dirancang terdiri dari: ekor bentuk kerucut (tail cone), bidang tidak bergerak (fixed surfaces) dan bidang yang bergerak (movable surfaces).

Tail cone sebagai penutup bagian ujung belakang fuselage , yang strukturnya dibuat sama seperti fuselage dengan bentuk kerucut.

Yang dimaksud fixed surfaces adalah horizontal dan vertical stabilizer. Dan yang dimaksud movable surfaces adalah rudder dan elevator. Vertical dan horizontal stabilizer konstruksinya terdiri dari ; spars, ribs, stringer dan skin sama seperti pada sayap (wing). Tegangan yang terjadi di empennage juga sama seperti yang dialami di sayap seperti bending, torsion, dan shear.

Fuselage terminates in a tail cone

Gbr .21. Konstruksi empenage

D BIDANG-BIDANG KENDALI TERBANG PESAWAT UDARA (*AIRCRAFT FLIGHT CONTROL SURFACES)*

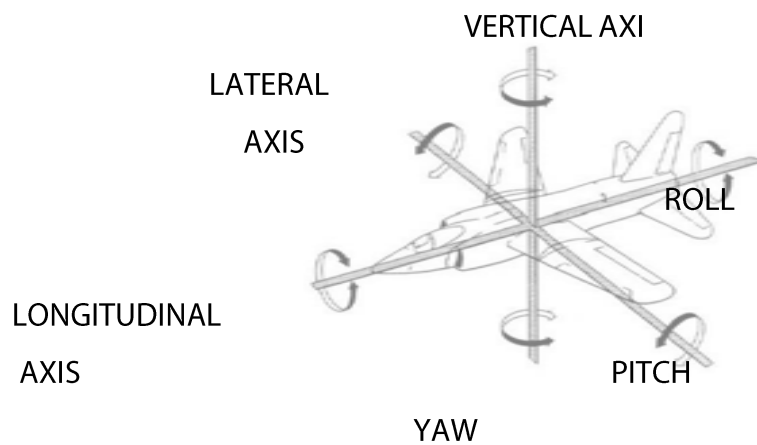
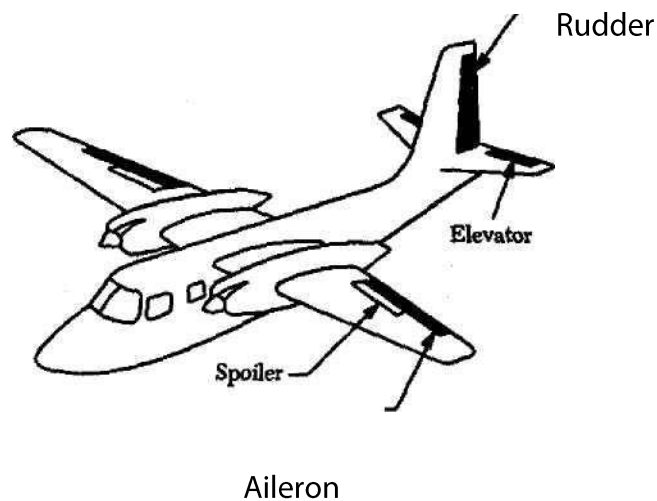
Pengendalian pesawat udara saat terbang dikontrol dalam tiga sumbu , yaitu sumbu lateral , sumbu longitudinal dan sumbu vertical, oleh bidang-bidang control (flight control surfaces). Bidang-bidang control ini memandu pesawat udara selama terbang mulai take off, climbing, cruising , descent sampai landing. Flight control surfaces dibagi dalam tiga (3) kelompok utama yaitu ***primary control surface , secondary control surfaces dan auxiliary control surface***

BIDANG-BIDANG KENDALI TERBANG UTAMA (*PRIMARY FLIGHT CONTROL SURFACES)*

Primary flight control surface terdiri dari aileron, elevator dan rudder..

Aileron dipasang di bagian traling edge sayap, berfungsi mengontrol gerakan miring (bangking) ,belok (turning) dan berputar dengan tumpuan sumbu longitudinal (rolling). Pergerakan antara aileron kanan dan kiri arahnya saling berlawanan

Elevator dipasang di horizontal stabilizer, berfungsi mengontrol gerakan pitching(nose up and down) dengan tumpuan sumbu lateral .

Rudder dipasang di vertical stabilizer, berfungsi mengontrol arah kiri dan kanan (hiding) atau yawing , dengan tumpuan sumbu vertical.

Gbr.22 Sumbu kendali terbang (*flight control axis*)

Gbr. 23. Primary flight control

BIDANG-BIDANG KENDALI TERBANG PEMBANTU (*SECONDARY FLIGHT CONTROL SURFACES)*

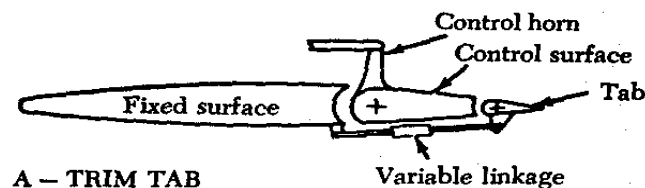
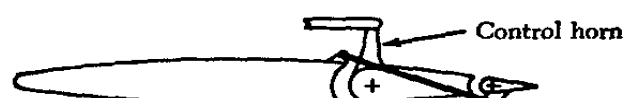
Yang termasuk secondary flight control surface adalah macam-macam tabs yaitu : *trim tab , servo tab, spring tab, balance tab*.

Fungsi tabs adalah :

- untuk membantu pilot mengurangi gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan primary flight
  control .
- untuk membantu pilot dalam melakukan *trim and balance* pesawat saat kondisi terbang.

Tab merupakan bidang control yang kecil yang dipasang pada bagian trailing edge dari primary control surfaces. Perhatikan gambar 24 !

TRIM TAB , berfungsi mengontrol keseimbangan sebuah pesawat udara sehingga dapat menjaga dan mempertahankan posisi terbang dalam kondisi lurus dan mendatar (straight and level) , tanpa tekanan pada control column, control wheel atau rudder pedal.Sebagian besar trim tab dipasang pada pesawat udara dioperasikan secara mekanikal dari cockpit melalui sistem kabel. Akan tetapi ada juga yang dioperasikan menggunakan electrical actuator. Trim tab dipasang pada elevator , rudder dan aileron.

SERVO TAB, sering disebut **flight tab ,** digunakan terutama untuk main control surface yang besar/lebar, yang bekerja membantu pergerakan control surface dan menahannya pada posisi yang diinginkan. Hanya servo tab yang bergerak merespon terhadap pergerakkan cockpit control, dimana *horn* dari dari servo tab bersifat bebas terhadap *pivot* sumbu engsel main control surface. Tekanan aliran udara pada servo tab akan menggerakkan primary control surface, dengan demikian mengurangi tenaga yang dibutuhkan pilot untuk menggerakkan primary control surface tersebut.

Gbr.24. Macam-macam Tab

BALANCE TAB, rangkaian pada balance tab dirancang sedemikian rupa sehingga saat main control surface bergerak, tab bergerak dalam arah yang berlawanan, sehingga gaya aerodinamika yang bekerja pada tab membantu pergerakkan main control surface.

SPRING TAB, bekerja seperti hydraulic actuator , membantu pergerakkan primary control surface. Konstruksinya terdiri dari susunan spring dan rangkaian mekanik lainnya. Dalam beberapa pesawat udara , spring tab dipasang pada trailing edge masing-masing aileron dan digerakkan oleh gaya spring push pull rod yang dirangkaikan ke aileron control linkage.

BIDANG-BIDANG KENDALI TERBANG PELENGKAP (*AUXILIARY FLIGHT CONTROL SURFACES)*

Yang termasuk auxiliary flight control surface adalah : flaps , spoilers, speed brakes , slats, leading edge flaps and slot. Auxiliary group tersebut dibagi 2 kelompok yaitu kelompok penambah gaya angkat (lift increasing group) dan kelompok pengurang gaya angkat (lift decreasing group).

Yang termasuk ***lift increasing group*** adalah : flaps, trailing edge and leading edge slats , slots.

Yang termasuk ***lift decreasing group*** adalah : speed brakes , spoilers.

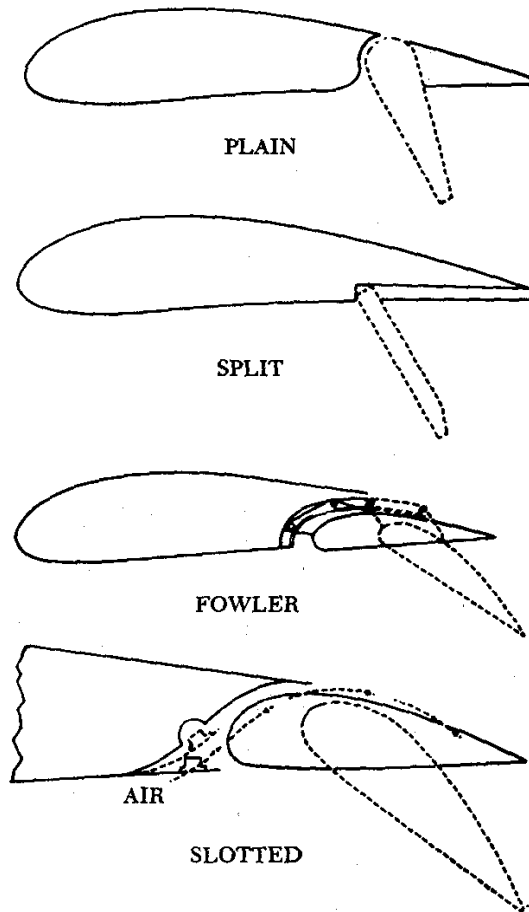
Jenis flaps terdiri dari :

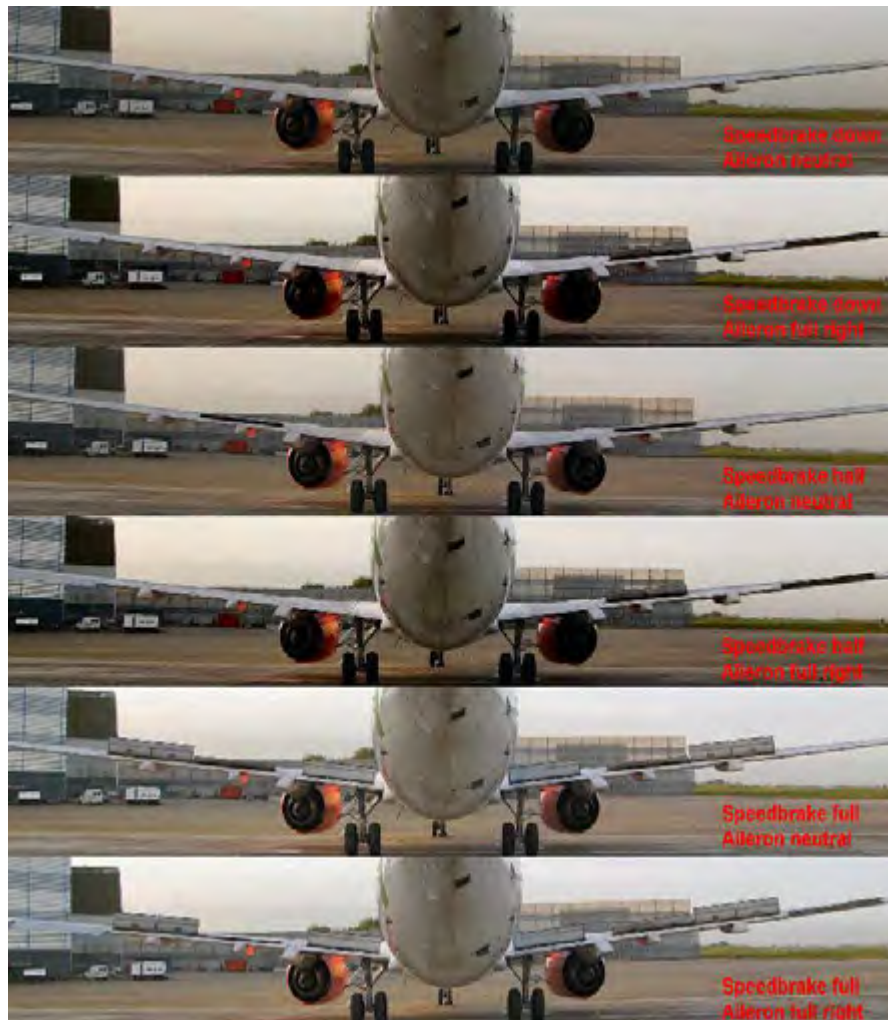
1) plain flap,

2) split flap,

3) fowler flap,

4) slotted flap

Perhatikan gbr.25 !

Gbr.25. Jenis-jenis flap

Gbr.26. Slat dan slot.

Gbr. 27. Speed brake

D ENGINE NACELLES / PYLON

Nacelle disebut juga pod atau pylon adalah tempat pemasangan sekaligus rumah dari engine pesawat udara. Bentuk nacelle tersebut harus streamline terhadap udara, bisa berbentuk bulat atau lonjong (round or spherical). Nacelle atau pod untuk jenis pesawat multi engine dipasang dibagian atas (above) , di bawah (below) atau pada leading edge sayap.Sedangkan untuk pesawat dengan single engine nacelles/pylon dipasang dibagian depan fuselage dan bentuknya harus streamline mengikuti bentuk fuselage, karena bentuk nacelle tersebut menjadi bentuk perpanjangan fuselage.

Engine nacelles /pylon/pod konstruksinya terdiri dari :

- Skin
- Cowling
- Structural member
- Fire wall
- Engine mount

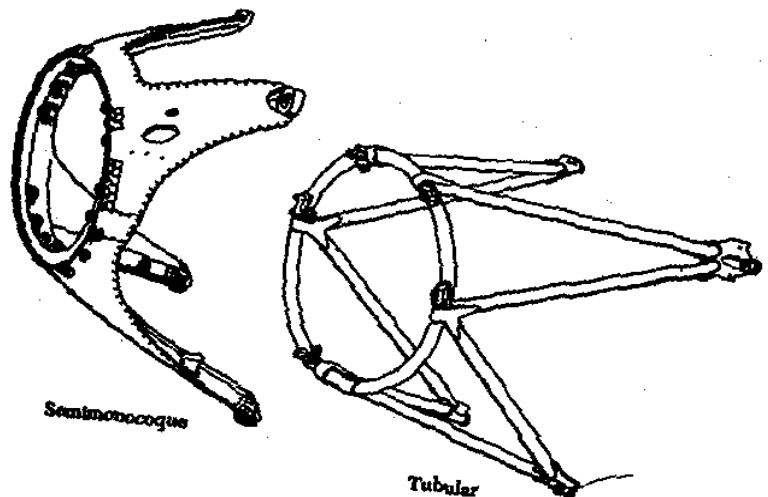
Skin dan cowling merupakan penutup (cover) bagian luar nacelle.Keduanya biasanya dibuat dari bahan : lembaran alumunium paduan (aluminum alloy), stainless steel, magnesium atau titanium . Pemasangan skin terhadap rangkanya dilakukan dengan cara di rivet.

Structural member (kerangka) dari nacelles sama seperti fuselage terdiri dari : longerons , stringers , bulkheads , rings , former.

Dalam nacelle dipasang firewall (dinding api) sebagai pemisah antara engine compartment dengan dinding pembatas ruang dalam pesawat (contoh fuel tank dalam wing,ruang cockpit dsb). Bulkhead dalam nacelle biasanya dibuat dari lembaran stainless steel, atau titanium.

Sebuah nacelle untuk mesin turbin gas memiliki saluran masuk di ujung hulu dari nacelle dan saluran pembuangan di ujung hilir dari nacelle tersebut. Saluran pemasukan (intake) memiliki, bibir intake dan diffuser. Diffuser memiliki bagian diffuser utama dan bagian diffuser dinding lurus pendek opsional. Bagian diffuser utama dibatasi oleh dinding bagian dalam nacelle, dinding dalam yang melengkung mengarahkan aliran udara dari mesin. Pada setiap bagian longitudinal (membujur) mengandung sumbu mesin, di ujung hilir dari bagian dinding dalam diffuser utama memiliki non nol kelengkungan. Dengan demikian setiap posisi melingkar pada dinding bagian dalam di ujung hilir dari bagian diffuser utama memiliki kelengkungan yang didefinisikan oleh radius

kelengkungan masing-masing. Namun, satu atau lebih dari jari-jari kelengkungan berbeda dari jari-jari kelengkungan lainnya.

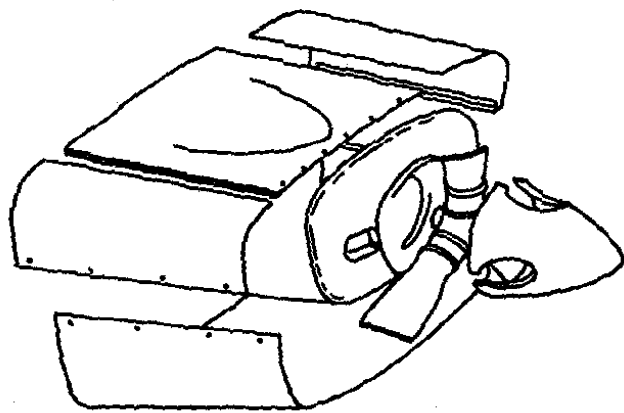
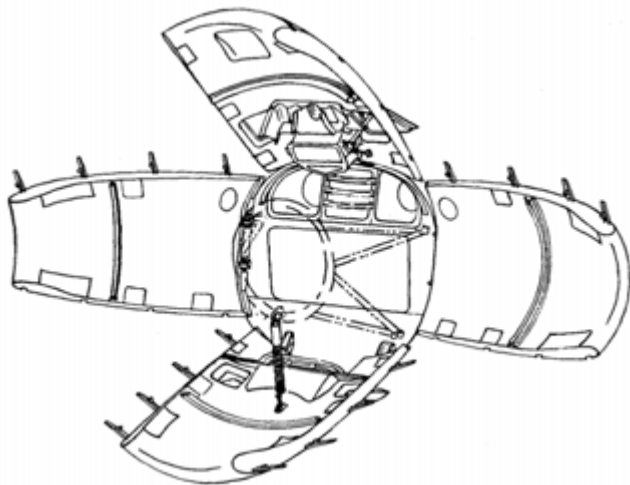
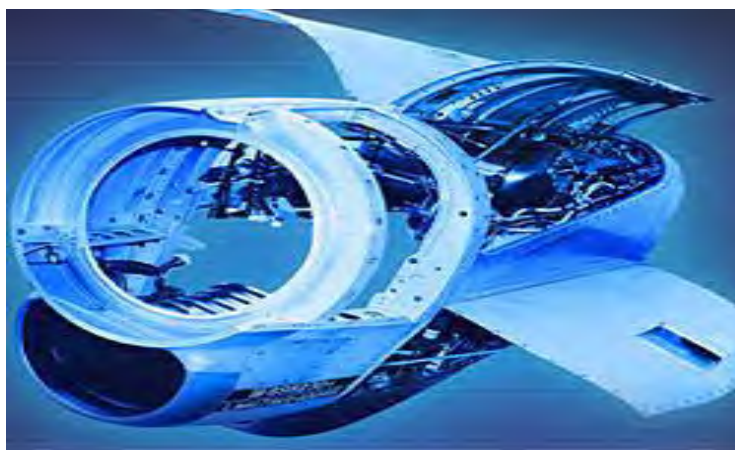
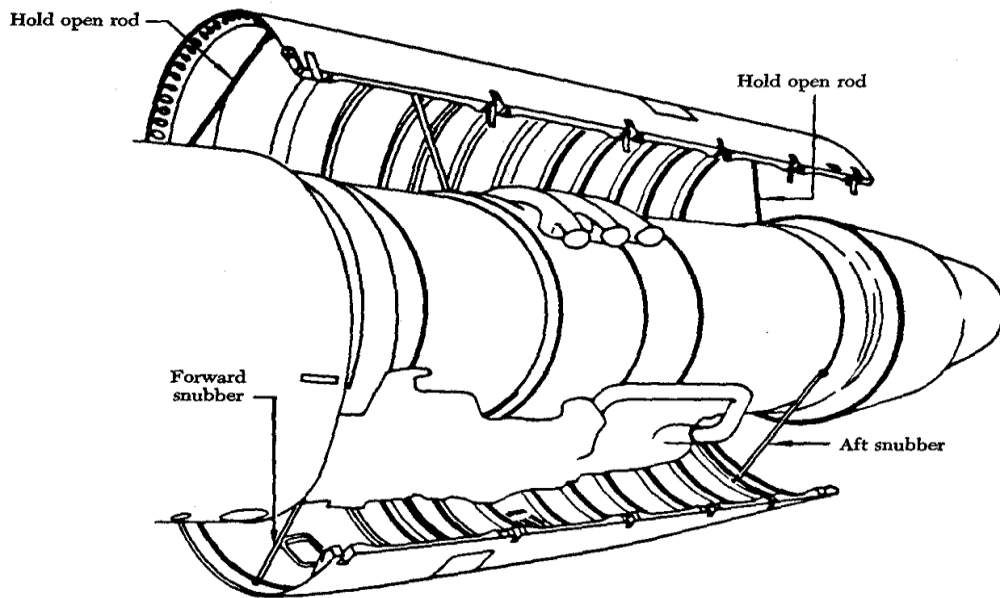
Gbr. 28 Engines nacelles pada sayap pesawat udara

Gbr.29. Engine mount

Bagian nacelle yang lainnya adalah engine mount (tempat menggantung/memasang engine). Gantungan engine tersebut dipasangkan pada firewall , dan engine dipasangkan

pada engine mount diikat oleh nuts, bolt dan karet peredam getaran (vibration absorbing rubber atau pads).

Engine mount secara umum dibuat dari pipa chromium steel atau molybdenum steel yang dilas , dan chromium/nickel/molybdenum yang ditempa yang digunakan untuk sambungan-sambungan tegangan tinggi.

Cowling merupakan penutup (cover) engine , accessory section ,engine mount dan firewall ,yang sifatnya bisa dibuka dan ditutup dengan mudah dan cepat, terutama dibutuhkan saat inspeksi dan engine servicing.

A Cowling for horizontally opposed engine

B "Orange-peel" cowling opened

C Side-mounted turbojet engine cowling

Gbr.30. Engine Cowling (A,B,C)

EVALUASI BAB III

Jawablah pertanyaan-pertanyaan dibawah ini dengan benar !

1. Jelaskan fungsi fuselage !
2. Apa yang dimaksud dengan konstruksi truss type ?
3. Sebutkan bagian-bagian dari konstruksi truss type !
4. Jelaskan yang dimaksud dengan konstruksi fuselage monocoque?
5. Sebutkan bagian-bagian dari konstruksi fuselage monocoque !
6. Jelaskan yang dimaksud dengan konstruksi fuselage semi monocoque?
7. Sebutkan bagian-bagian dari konstruksi fuselage semi monocoque !
8. Jelaskan yang dimaksud dengan konstruksi fuselage reinforce shell ?
9. Jelaskan fungsi wing!
10. Sebutkan bagian-bagian dari konstruksi wing !
11. Sebutkan jenis-jenis wing ditinjau dari segi : a) bentuk , b) pemasangan pada fuselage !
12. Jelaskan yang dimaksud dengan dihedral wing !
13. Jelaskan fungsi stabilizer pada pesawat udara !
14. Sebutkan jenis stabilizer pada pesawat udara !
15. Jelaskan fungsi flight control surfaces dalam pesawat udara !
16. Sebutkan kelompok flight control surfaces dalam pesawat udara !
17. Jelaskan fungsi dari primary flight control surfaces !
18. Sebutkan bidang-bidang yang termasuk primary flight control surfaces dan jelaskan fungsi dari masing-masing bidang tersebut !
19. Jelaskan fungsi dari secondary flight control surfaces !
20. Sebutkan bidang-bidang yang termasuk secondary flight control surfaces dan jelaskan fungsi dari masing-masing bidang tersebut !
21. Jelaskan fungsi dari auxiliary flight control surfaces !
22. Sebutkan bidang-bidang yang termasuk auxiliary flight control surfaces dan jelaskan fungsi dari masing-masing bidang tersebut !

23. Jelaskan fungsi dari engine nacelle !

24. Sebutkan bagian-bagian dari kostruksi engine nacelle !

25. Sebutkan jenis-jenis engine cowling !

MELAKSANAKAN AIRFRAME STRUCTURE REPAIR

Penjelasan Umum

Metoda perbaikan bagian-bagian struktur pesawat udara bermacam-macam serta bervariasi, dan tidak ada pola perbaikan yang baku yang telah ditemukan di berbagai kasus kerusakan.Namun ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan pergantian dan perbaikan struktur pesawat udara yaitu:

a. Mempertahankan kekuatan aslinya (Maintaining original strength), artinya kekuatan material pengganti harus sama dengan kekuatan material aslinya.
b. Tipe,ukuran dan jumlah rivet yang dibutuhkan dihitung sesuai aturan ,agar kekuatannya sama dengan aslinya
c. Ketebalan (thickness) material pengganti sama dengan tebal aslinya.
d. Jenis material pengganti tidak lebih berat dari material aslinya (keeping weight to a minimum).
e. Mempertahankan bentuk contour sesuai aslinya (maintaining original contour), artinya mempertahankan dan membuat contour perbaikan struktur komponen sesuai dengan bentuk aslinya.

Perbaikan struktur rangka pesawat udara dalam pelaksanaannya sampai saat ini tidak lepas dari penggunaan rivet sebagai komponen pengikatnya. Oleh sebab itu dalam pelaksanaan repair struktur pesawat udara, siswa diharapkan dalam melakukan pelepasan

dan pemasangan rivet dengan baik dan benar. Ada beberapa kompetensi yang harus dimiliki siswa dalam pekerjaan riveting antara lain :

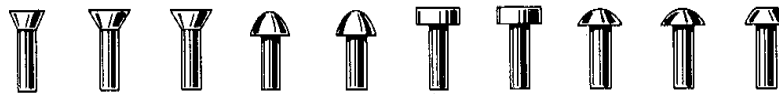
a. Memilih jenis rivet yang tepat.

b. Memilih ukuran rivet yang tepat .

c. Menghitung jumlah rivet yang dibutuhkan dengan benar.

Ada dua kelompok rivet yang digunakan di struktur pesawat udara yaitu :

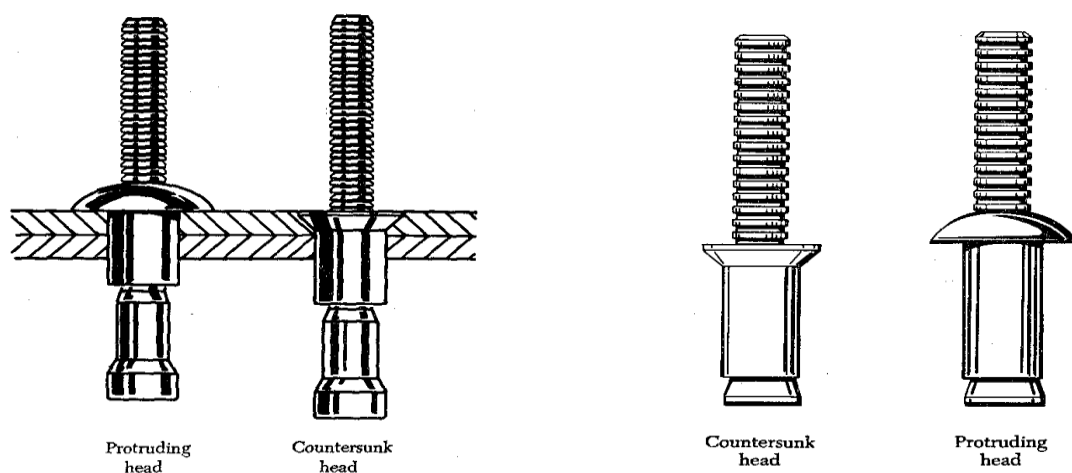
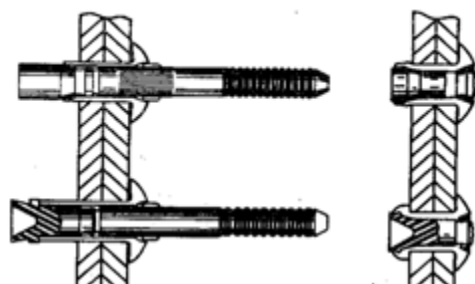
1. Solid shank rivets , yang kepala barunya (shop head) dibentuk menggunakan bucking bar.
2. Special blind rivets , kepala barunya (shop head) tidak bisa dibentuk menggunakan bucking bar.

Solid shank rivets , terdiri dari beberapa jenis yaitu : universal head , round head , flat head, countershunk head dan brazier head. Perhatikan gambar 31. !

Material	Head Marking	AN Material Code	AN425 78° Counter-Sunk Head	AN426 100° Counter-Sunk Head MS20426*	AN427 100° Counter-Sunk Head MS20427*	AN430 Round Head MS20470*	AN435 Round Head MS20613* MS20615*	AN441 Flat Head	AN442 Flat Head MS20470*	AN455 Brazier Head MS20470*	AN456 Brazier Head MS20470*	AN470 Universal Head MS20470*	• Heat Treat Before Using	Shear Strength P.S.I.	Bearing Strength P.S.I.
1100	Plain	A	X	X		X			X	X	X	X	No	10000	25000
2117T	Recessed Dot	AD	X	X		X			X	X	X	X	No	30000	100000
2017T	Raised Dot	D	X	X		X			X	X	X	X	Yes	34000	113000
2017T-HD	Raised Dot	D	X	X		X			X	X	X	X	No	38000	126000
2024T	Raised Double Dash	DD	X	X		X			X	X	X	X	Yes	41000	136000
5056T	Raised Cross	B		X		X			X	X	X	X	No	27000	90000
7075-T73	Three Raised Dashes		X	X		X			X	X	X	X	No		
Carbon Steel	Recessed Triangle				X		X MS20613*	X					No	35000	90000
Corrosion Resistant Steel	Recessed Dash	F			X		X MS20613*						No	65000	90000
Copper	Plain	C			X		X	X					No	23000	
Monel	Plain	M			X			X					No	49000	
Monel (Nickel-Copper Alloy)	Recessed Double Dots	C					X MS20615*						No	49000	
Brass	Plain						X MS20615*						No		
Titanium	Recessed Large and			MS20426				X					No	95000	

Gbr.31 Macam-macam solid shank rivets

Special blind rivets digunakan apabila solid shank rivet tidak bisa digunakan , karena untuk membentuk shop head tidak bisa menggunakan bucking bar, dan shop head rivet yang dibentuk tidak bisa dilihat karena terletak pada ruang yang sempit dan susah dijangkau, oleh karena itu rivet yang digunakan dikenal dengan nama blind rivet. Jenis blind rivets biasanya digunakan untuk komponen-komponen non structural seperti dibagian interior , lantai (flooring), deicing boots dsb.

Ada dua kelompok blind rivets yaitu :

1. Non-structural , terdiri dari :
    a. Self-plugging (friction lock) blind rivets
    b. Pull-thru rivets
2. Mechanical lock, flush fracturing , self plugging rivets.

Self-plugging (friction lock) blind rivets   Pull-thru rivets

Mechanical lock rivets

Gbr.32 Macam-macam blind rivet

Memilih ukuran rivet untuk perbaikan dapat dilakukan dengan cara melihat ukuran rivet yang dibuat oleh pabrik (manufacturer) seperti yang sudah dipasang pada bagian inboard wings atau bagian depan fuselage.

Metoda lain untuk memilih dan menentukan ukuran rivet adalah dengan cara menghitung menggunakan rumus

Diameter (Ø) rivet = 3 x tebal pelat

(Ø) rivet = 3 T

Sebagai contoh :

Apabila tebal pelat yang digunakan dalam perbaikan adalah 0,040" maka diameter rivet yang harus digunakan adalah 3 x 0,040" = 0,120" , sesuai dengan ukuran yang ada maka ukuran ini mendekati ukuran 1/8 " (0,125").

Untuk latihan : Berapa ukuran diameter rivet yang digunakan apabila pelat yang digunakan berukuran 1mm.?

Untuk menghitung jumlah rivet yang digunakan dalam perbaikan struktur rangka pesawat udara , digunakan rumus sebagai berikut :

Jumlah rivet yang dibutuhkan per sisi

$$= \frac{L \times T \times 75000}{S \text{ or } B}$$

(pilih nilai terkecil)

L = panjang sobekan (length of the break)

T = tebal material (thickness of material)

75000 = angka faktor keamanan

S = shear strength (kekuatan geser)

B = bearing strength (kekuatan tarik)

Contoh perhitungan :

Hitung jumlah rivet 2117-T yang dibutuhkan untuk memperbaiki material yang sobek sepanjang 2-1/4 in dengan tebal material 0,040 in !

Jawaban :

Diketahui ; L = 2-1/4 (2,25) in

T = 0,040 in

Ukuran rivet : 0,040 " x 3 = 0,120" mendekati 0,125 " atau 1/8"

S = 331 (dilihat dari table shear strength)

B = 410 (dilihat dari table bearing strength)

Jumlah rivet yang dibutuhkan :

$$\frac{2{,}25 \times 0{,}040 \times 75000}{331} = \frac{6750}{331}$$

$= 20{,}39$ (21) rivet /sisi

Untuk membantu melihat nilai S dan B perhatikan table 1 dan 2!

Tabel 1. Single shear strength

*Single-Shear Strength of Aluminum-Alloy Rivets (Pounds)									
Composition of Rivet (Alloy)	Ultimate Strength of Rivet Metal (Pounds Per Square Inch)	Diameter of Rivet (Inches)							
		1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8
2117 T	27,000	83	186	331	518	745	1,325	2,071	2,981
2017 T	30,000	92	206	368	573	828	1,472	2,300	3,313
2024 T	35,000	107	241	429	670	966	1,718	2,684	3,865
*Double-shear strength is found by multiplying the above values by 2.									

Tabel.2. Bearing strength

Thickness of Sheet (Inches)	Diameter of Rivet (Inches)							
	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4	5/16	3/8
0.014	71	107	143	179	215	287	358	430
.016	82	123	164	204	246	328	410	492
.018	92	138	184	230	276	369	461	553
.020	102	153	205	256	307	410	412	615

B INSPEKSI KERUSAKAN PADA STRUKTUR PESAWAT UDARA

1. MACAM-MACAM KERUSAKAN

- Brinelling , yaitu kerusakan akibat tekanan permukaan benda lain dengan beban yang berat.
- Burnishing, goresan pada permukaan akibat gesekan permukaan benda yang keras.
- Burr , kerusakan kecil akibat gerakan benda (bertranslasi / memanjang) yang berada dibagian ujung lubang.
- Corrosion , kerusakan akibat karat /korosi
- Crack , kerusakan akibat retak
- Cut , hilangnya sebagian metal akibat potongan benda tajam (saw blade ,chisel etc).
- Dent , lekukan akibat beradu dengan benda lain.
- Erosion, pengikisan metal akibat aksi mekanik atau objek lainnya.
- Chattering , kerusakan permukaan metal /komponen diakibatkan oleh getaran.

- Galling, kerusakan permukaan metal/komponen akibat gesekan dua permukaan yang bergerak.
- Gouge, terjadi celah /kerusakan permukaan metal akibat beradu (contact) dengan material asing yang bertekanan berat.
- Inclusion, adanya material asing dalam suatu bagian material komponen akibat pengolahan /pembentukan selama di pabrik pembuat.
- Nick, sobekan local pada suatu sisi komponen.
- Pitting, meruncingnya permukaan metal.
- Scratch, goresan terhadap permukaan metal akibat cahaya atau bersinggungan dengan benda asing.
- Score, goresan yang lebih dalam dari scratch terhadap permukaan metal akibat bersinggungan dengan benda lain yang bertekanan.

2. KLASIFIKASI KERUSAKAN (DAMAGE)

Kerusakan dalam struktur pesawat udara dapat dikelompokkan menjadi 4 golongan , yaitu :

1. **Negligible damage** , yaitu kerusakan ringan yang tidak berpengaruh terhadap keutuhan (integritas) struktur secara keseluruhan. Cara perbaikannya dapat dilakukan dengan prosedur yang sederhana (simple procedure). Contoh kerusakan : small dents, scratches,crack dn holes, hal-hal tersebut dapat diperbaiki dengan cara : smoothing, sanding, stop drilling dan hammering out.
2. **Damage repairable by patching**, yaitu kerusakan yang diperbaiki dengan cara ditambal atau disisipkan menggunakan material yang sama dengan aslinya, dengan menggunakan pengikat jenis rivet atau bolt. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam memilih material untuk penambal (patching material) yaitu : jenis material sama

dengan aslinya, beratnya sama atau lebih ringan dari aslinya, kekuatannya minimal sama dengan kekuatan material aslinya, dapat dibentuk mengikuti bentuk (contour) aslinya.

3. **Damage repairable by insertion**, yaitu kerusakan yang diperbaiki dengan cara memotong bagian struktur yang rusak kemudian diganti dengan cara menyisipkan (insert) part /komponen yang baru .
4. **Damage necessitating replacement of parts,** kerusakan yang diperbaiki dengan cara mengganti komponen yang lama dengan komponen yang baru , dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :
   - **a.** Saat terjadi kerusakan yang fatal pada komponen, yang tidak bisa diperbaiki.
   - **b.** Saat struktur sekelilingnya tidak memungkinkan untuk dapat dilakukannya pekerjaan perbaikan.
   - **c.** Saat kerusakan komponen relative lebih mudah diganti daripada diperbaiki.
   - **d.** Saat sambungan (fitting) yang sifatnya ditempa atau dicor mengalami kerusakan dl luar batas kerusakan yang diizinkan.

Melaksanakan Lap Patch Repair of Aircraft Skin

Ada kasus kerusakan pada skin rangka pesawat udara seperti pada ilustrasi gambar33.

Lakukan perbaikan kerusakan dengan cara patching / doubler , serta laksanakan doubler riveting dengan pola single row layout spacing , dengan langkah kerja sebagai berikut :

1. Potonglah pelat aluminum ukuran 6”x5” sebanyak 2 lembar , beri nama pelat A dan B ! (lihat gbr.33)
2. Potonglah / buang bagian yang dianggap crack dengan ukuran 2,5”x2” pada pelat A !

3. Buatlah pola penempatan rivet sesuai dengan jumlah rivet yang telah dihitung dengan pola single row layout sesuai luas pelat yang dirivet berdasarkan aturan yang berlaku , yang menyangkut : ***rivet edge , rivet pitch dan transverse pitch.*** !
4. Setelah pola penempatan rivet dibuat, pindahkan pola tersebut ke pelat yang akan dirivet (pelat A dan B) !
5. Lakukan "drilling process" terhadap pelat A dan B untuk setiap titik rivet yang telah Anda pola !
6. Setelah "drilling process" dilakukan, haluskan lubang-lubang rivet (deburing and reaming process) !
7. Setelah deburing and reaming selesai, lakukan riveting !
8. Periksalah hasil kerja Anda bila telah selesai , lakukan perbaikan pada hasil riveting yang dianggap rusak (reject)!
9. Bila pekerjaan Anda sudah selesai , bereskan dan rapikan kembali semua peralatan yang Anda gunakan !

Untuk melaksanakan pekerjaan diatas ada beberapa hal yang harus diperhatikan dan dipersiapkan yaitu :

a. Keselamatan kerja :

   a.1. Gunakan pakaian kerja dan alat pengamanan yang sesuai antara lain :wearpack/baju praktik ,sepatu karet,sarung tangan.!

   a.2. Gunakan alat kebutuhan riveting sesuai fungsinya!

b. Alat :

- Rivet gun
- Backing bar.
- Gunting pelat (plate cutter)
- Rivet cutter
- Cleco fastener
- Electric drill/pneumatic drill
- Ruller 1 ft
- Vernier caliper ketelitian 0,02mm
- Punch
- Mata bor (twist drill) d=3mm

- ➢ Chisel
- ➢ Files
- ➢ Reamer
- ➢ Hammer / mallet
- ➢ Compressor

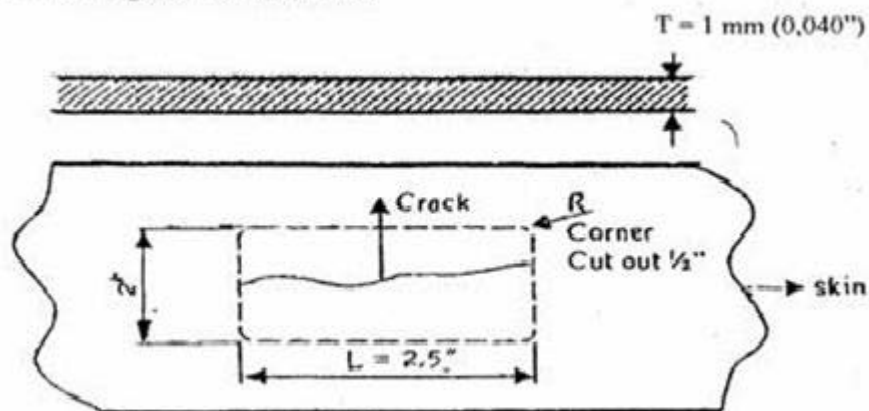
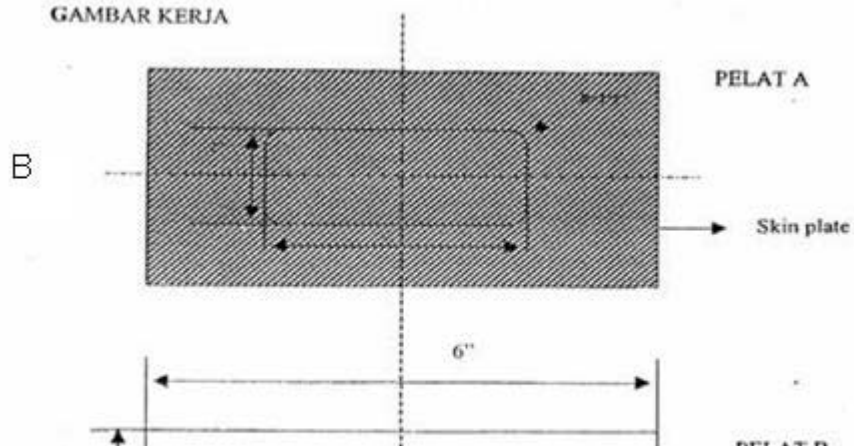
c. Bahan :

- ➢ Pelat aluminum tebal 1 mm (0,040 in)
- ➢ Rivet diameter 3mm

d. Menghitung jumlah rivet yang diperlukan

e. Perhatikan gambar ilustrasi kasus serta ilustrasi proses kerja pada gambar 13-29 !

A ILUSTRASI KASUS

B

Gbr. 33.A,B,C,D Ilustrasi kasus kerusakan dan ilustrasi proses kerja

Untuk dapat mengerjakan proses riveting dengan benar, maka siswa harus mempelajari dahulu masalah riveting layout.

Riveting layout terdiri dari beberapa ketentuan yang harus dilakukan yaitu :

1. Menghitung jumlah rivet yang diperlukan.
2. Memilih ukuran dan jenis rivet yang akan digunakan.
3. Memilih jenis material,kondisi temper material,kekuatan material.
4. Membuat ukuran lubang rivet
5. Membuat jarak lubang rivet sesuai aturan (rivet edge,rivet pitch)
6. Membuat spasi baris rivet sesuai aturan(rivet transverse).

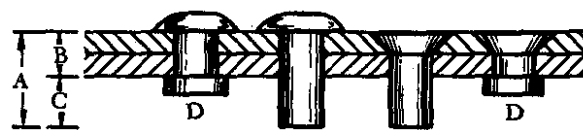
Jenis kepala rivet dipilih dan digunakan sesuai dengan lokasi pemasangannya, misalnya untuk area yang secara aerodinamika harus halus dan rata maka harus digunakan rivet

jenis **countershunk head**. Untuk area yang memerlukan extra strength dan extra clearance maka harus digunakan rivet jenis **roundhead**, tetapi kalau clearance yang ketat tidak terlalu dibutuhkan maka bisa menggunakan rivet jenis **flathead.** Sedangkan rivet jenis **universal head** merupakan jenis rivet yang paling banyak digunakan di area lainnya.

Ukuran rivet yang umum digunakan untuk assembly dan repair rangka pesawat udara adalah antara 3/32 in sampai 3/8 in.

Untuk menentukan panjang total rivet shank yang akan dipasang harus diperhitungkan berdasarkan tebal pelat yang akan digunakan,seperti berikut :

- panjang rivet grip(B) = 2 kali tebal pelat
- panjang rivet shank untuk membentuk
  kepala baru (shop head)
  (C) = 1 ½ diameter rivet shank.
- Panjang total rivet shank (A) = B + C
- Tebal kepala baru (shop head) (D) adalah ½ diameter rivet shank.

Perhatikan gambar 13-29 !.

A – Total rivet length

B – Grip length

C – Amount of rivet length needed for proper shop head (1½ × rivet dia.)

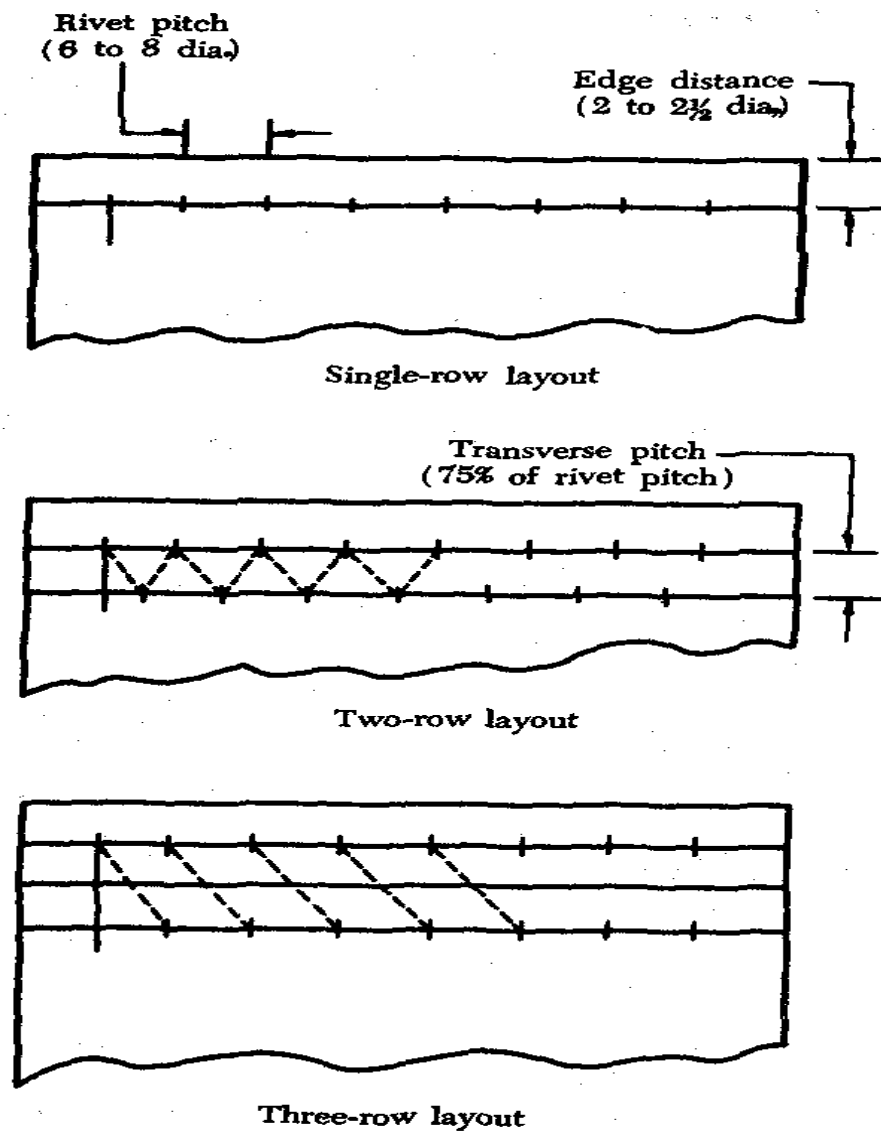
D – Installed rivets

Gbr.34. Menentukan panjang total rivet shank

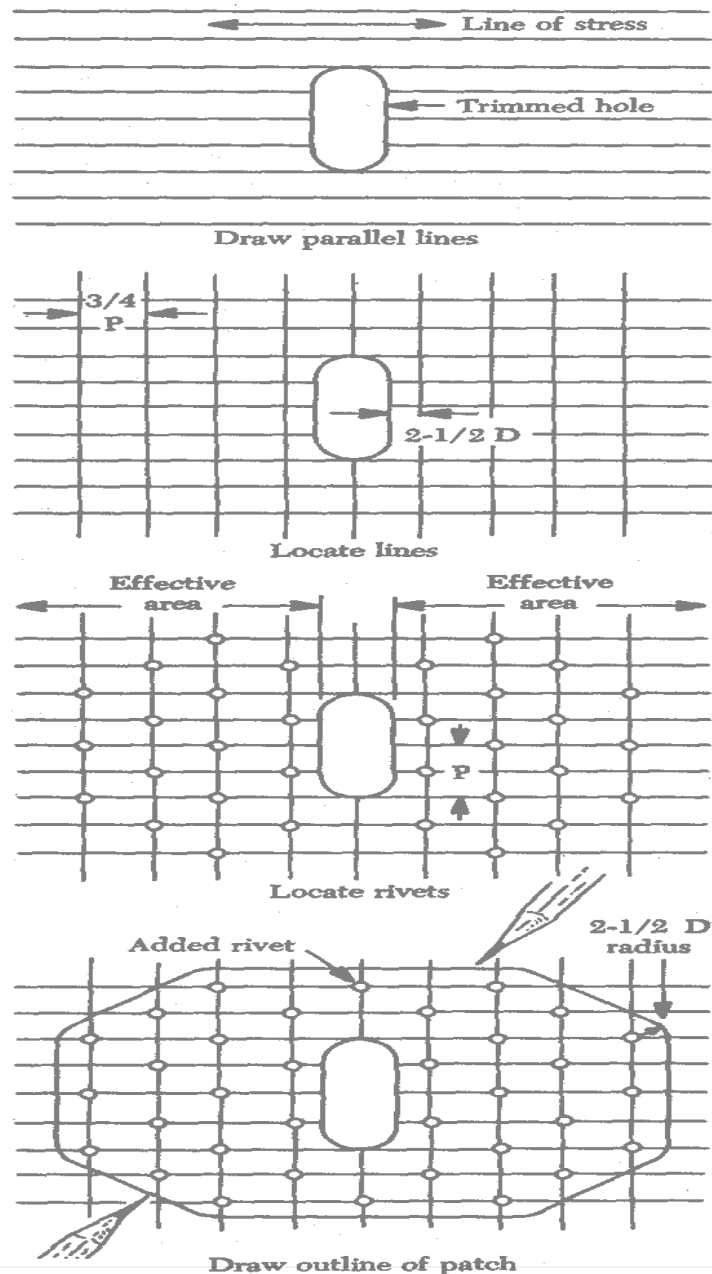
Pola penempatan rivet terdiri dari tiga jenis yaitu : single row , two row dan three row. Dalam penempatan rivet tersebut harus diperhatikan ketentuan spasi rivet (rivet spacing) yang terdiri dari :

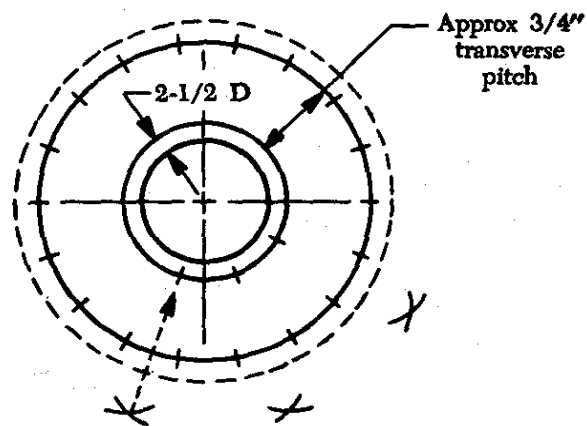
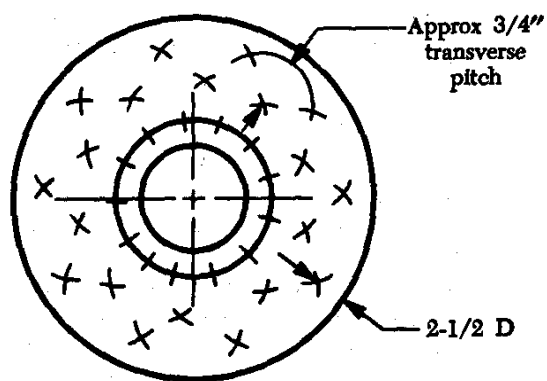
a. Rivet edge yaitu jarak titik tengah rivet terluar ke tepi pelat , dengan ketentuan minimal 2 – 2 ½ x Diameter rivet ,dan tidak lebih dari 4x Diameter rivet.

b. Rivet pitch yaitu jarak antar titik tengah rivet dalam satu baris , jarak rivet pitch terkecil adalah 3xD rivet , secara umum jarak rivet pitch yang digunakan berkisar antara 6 – 8 xD rivet, walaupun ada yang menggunakan rivet pitch 4-10xD rivet.
c. Transverse pitch adalah jarak antar baris rivet , ketentuannya 75% x rivet pitch. Jarak terpendek transverse pitch adalah 2 ½ D rivet.

Untuk lebih memperjelas mengenai pola penempatan rivet berikut rivet spacing perhatikan gambar 35!

Gbr.35. Pola penempatan rivet dan rivet spacing

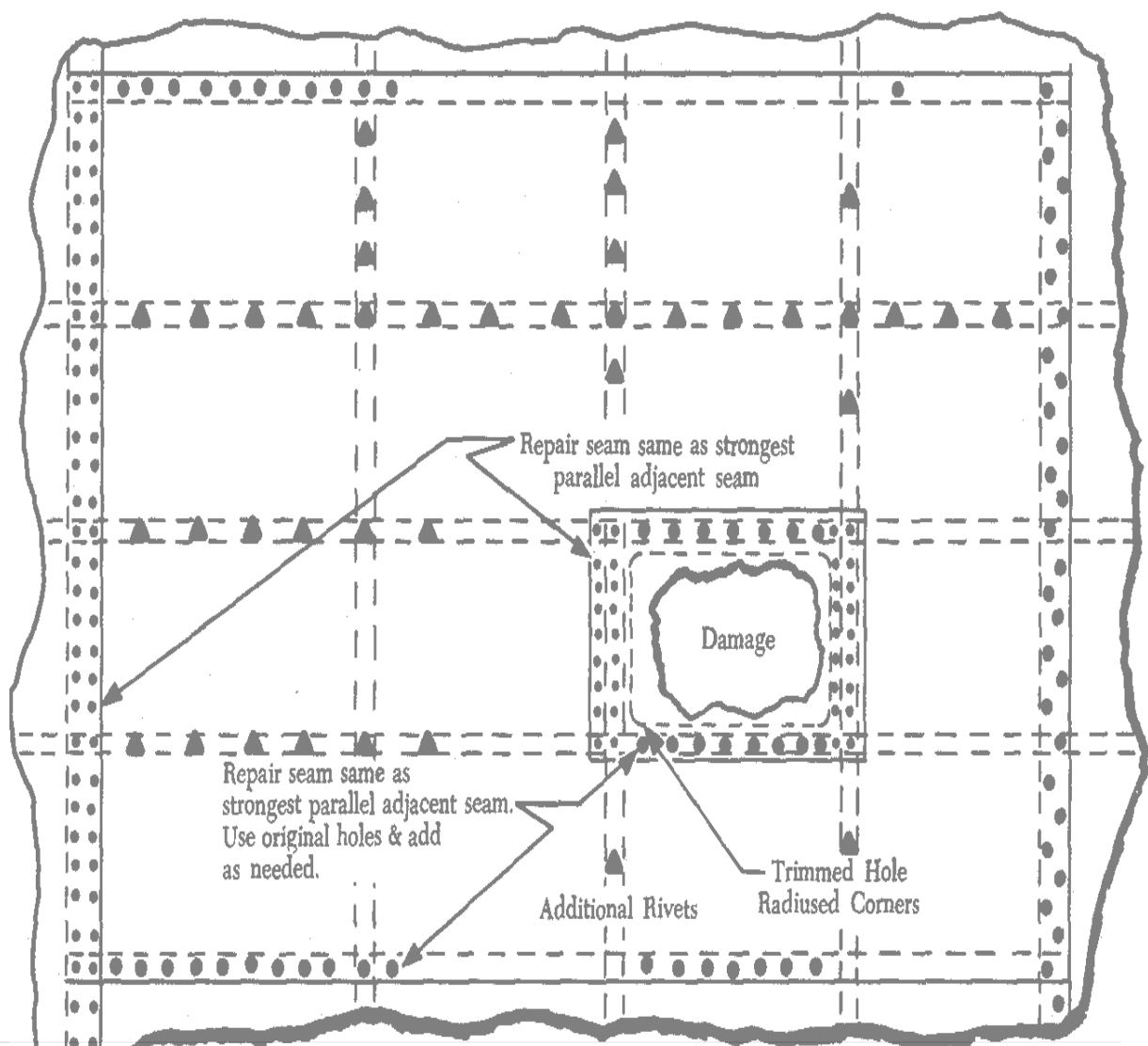
D Smooth Skin Repair

Smooth skin repair adalah kerusakan ringan (minor damage) kulit luar pesawat udara yang perbaikannya dapat dilakukan dengan patching dibagian dalam kulit yang rusak.Bagian skin yang rusak dibuang ,kemudian di tambal / diisi dengan skin yang baru. Proses pembuatan patching dibuat sedemikian rupa supaya bagian luar skin pesawat tetap dalam keadaan aerodinamis. Sebagai gambaran pekerjaannya perhatikan gambar 36 .yang merupakan contoh pekerjaan elongated octagonal patch.

Gbr.36.Elongated Patch

Contoh lain dari smooth skin repair adalah skin repair dengan pola round patch yaitu menambal dengan pola melingkar, seperti terlihat pada gbr.37 !

Two row round patch

Three row round patch

Gbr.37. Skin repair dengan pola round patch

E Panel Repair

Dalam konstruksi pesawat udara ,panel adalah sebuah lembaran metal penutup. Panel section adalah bagian dari sebuah panel antara dipasangnya stringer dan bulkhead. Sebagai contoh panel repair bisa dilihat pada gambar 38.

Gbr.38. Panel Skin Patch

Splice Repair Of Stringer , Bulkhead, Longeron, Spar, Rib, Leading and Trailing edge

1. Stringer Repair

Fuselage stringer memanjang dari hidung (nose) sampai ke ekor (tail) badan pesawat udara, dan wing stringer memanjang dari badan pesawat sampai ke ujung sayap (wing tip). Surface control stringer memanjang di sepanjang konstruksi control surface. Kulit /skin fuselage ,wing dan control surface dipasang ke stringer dengan cara dirivet.

Kerusakan stringer bisa disebabkan oleh getaran (vibration), karat (corrosion), atau tabrakan (collision). Kerusakan (damage) pada stringer bisa tergolong pada klasifikasi : *negligible damage,damage reparable by patching,atau damage necessitating replacement of parts*. Karena stringer dibuat dalam bentuk dan ukuran yang berbeda-beda , maka prosedur perbaikan yang dilakukan akan sedikit berbeda. Untuk perbaikan stringer tersebut membutuhkan pembentukan profile stringer secara mekanik mengikuti bentuk stringer aslinya.

Saat perbaikan stringer langkah-langkah yang harus dilakukan adalah :

- Mengukur panjang kerusakan stringer
- Membuka rivet di sekeliling area yang rusak.
- Membuka area stringer yang rusak menggunakan : hacksaw, keyhole saw , drill atau file.

Dalam sebagaian besar kasus kerusakan yang terjadi pada stringer diperbaiki dengan cara :

- Menyisipkan (inserting) splice angle.
- Memasang splice angle dibagian dalam permukaan stringer.
- Memasang splice angle dibagian luar permukaan stringer.

2.Former or Bulkhead Repair

Bulkhead merupakan komponen fuselage yang berbentuk oval , yang berperan memberi dan mempertahankan bentuk struktur . Bulkhead atau former sering disebut rings , body frames, circumferential rings, belt frames , yang dirancang untuk menahan beban gaya/tekanan yang terkonsentrasi (terpusat).

Ada beberapa tipe bulkhead antara lain :

- curved channel yang dibentuk dari lembaran tebal yang diberi tulang penguat.
- Web yang dibentuk dari lembaran tebal yang diberi angle penguat yang dirivet.

Klasifikasi kerusakan pada bulkhead sama seperti kerusakan pada bagian lainnya. Spesifikasi untuk masing-masing kerusakan dikeluarkan oleh manufacturer, dan informasinya diberikan melalui maintenance manual atau structure repair manual. Posisi bulkhead diidentifikasi dengan station number untuk membantu dan memudahkan pelaksanaan perbaikan.

Perbaikan untuk bulkhead ini dibagi dalam 2 kategori :

1. Sepertiga (1/3) atau kurang dari bagian melintang yang rusak.
2. Lebih dari seperttiga (1/3) bagian melintang yang rusak.

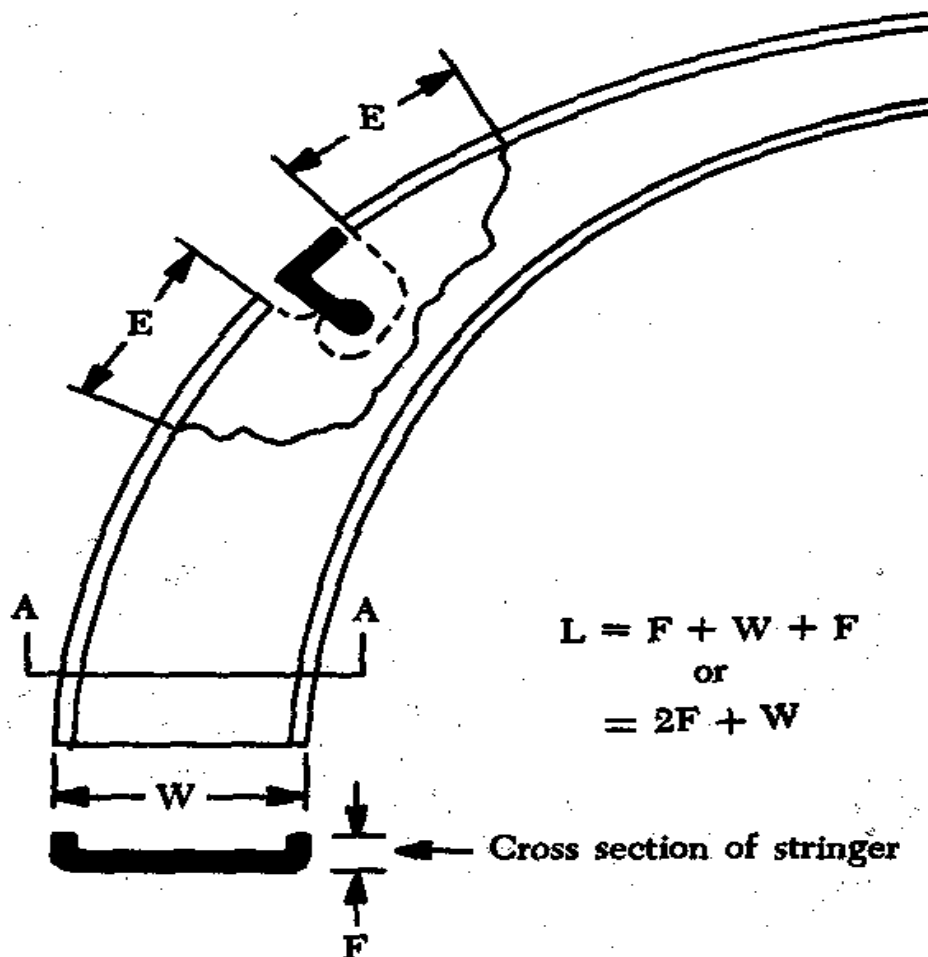
Jika kerusakan yang dialami adalah 1/3 atau kurang pada bagian melintang , maka perbaikan bisa dilakukan dengan cara : menambal dengan pelat (patch plate), menguatkan degan angle (reinforcing angle) atau dilakukan keduanya. Untuk pelaksanaan perbaikan:

pertama buang dan bersihkan daerah
yang rusak

-kemudian hitung jumlah rivet yang dibutuhkan

-bentuk dan ukur pelat penambal sesuai jumlah rivet yang akan digunakan

-pilih bentuk dan ukuran rivet yang sesuai.

Jika kerusakan yang dialami lebih dari 1/3 bagian melintang , maka lakukan perbaikan dengan cara ***splice repair*** . Perhatikan gambar 39!

Gbr. 39.Menghitung panjang break

Saat membuang bagian yang rusak . harus hati-hati jangan sampai merusak bagian lainnya seperti saluran kabel listrik, saluran pipa , instrument. Gunakan hand file, rotary file, snip , drill , hacksaw, keyhole saw untuk membuang atau memotong bagian yang rusak. Ukur panjang kerusakan seperti dicontohkan dalam gambar 13-35. Kemudian hitung jumlah rivet yang dibutuhkan menggunakan rumus , dan gunakan doubler shear value dalam perhitungannya.

3.Longeron Repair

Pelaksanaan perbaikan longeron sama seperti perbaikan pada stringer. Akan tetapi karena ukuran dan beban yang harus diterima longeron lebih besar dari stringer , maka longeron harus lebih kuat sehingga rivet yang digunakannya juga harus lebih kuat.Kadang-kadang bolts digunakan dalam perbaikan sebagai pengikat, akan tetapi akurasi serta waktu yang dibutuhkan lebih lama dari pada menggunakan rivet.

Jika longeron terdiri dari formed section dan angle section dalam keadaan terpisah , lakukan perbaikan seperti pada stringer. Jaga rivet pitch 4 – 6 D rivet, dan jika menggunakan bolt buatlah lobang bolt dengan suaian kecil.

4.Spar Repair

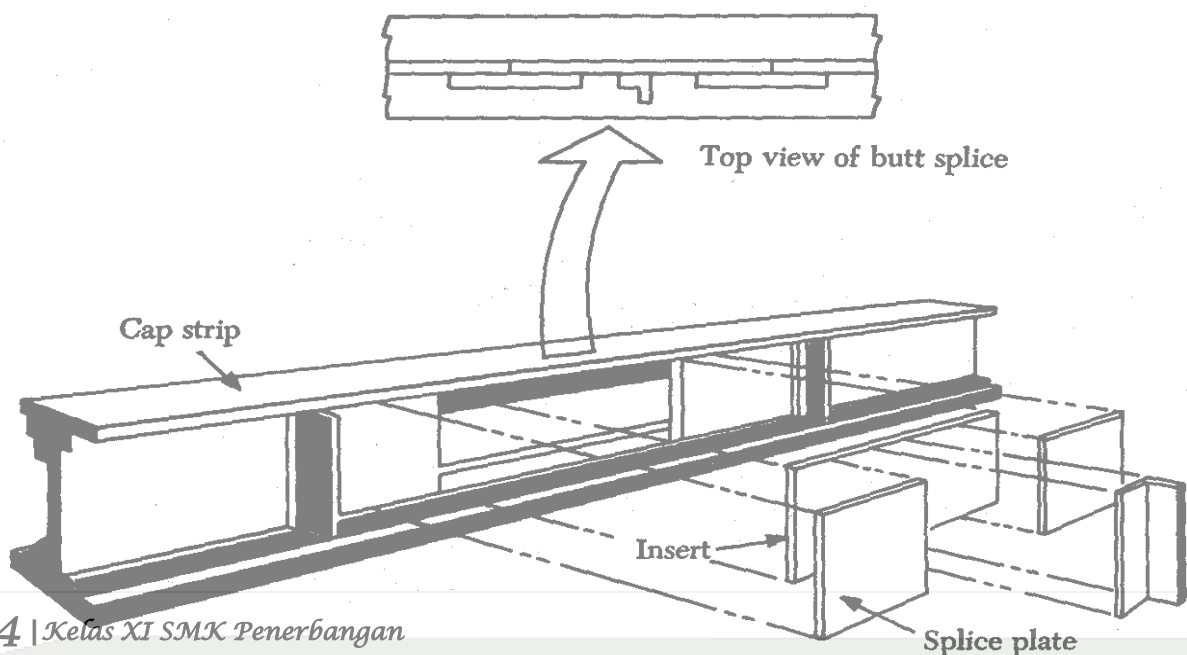
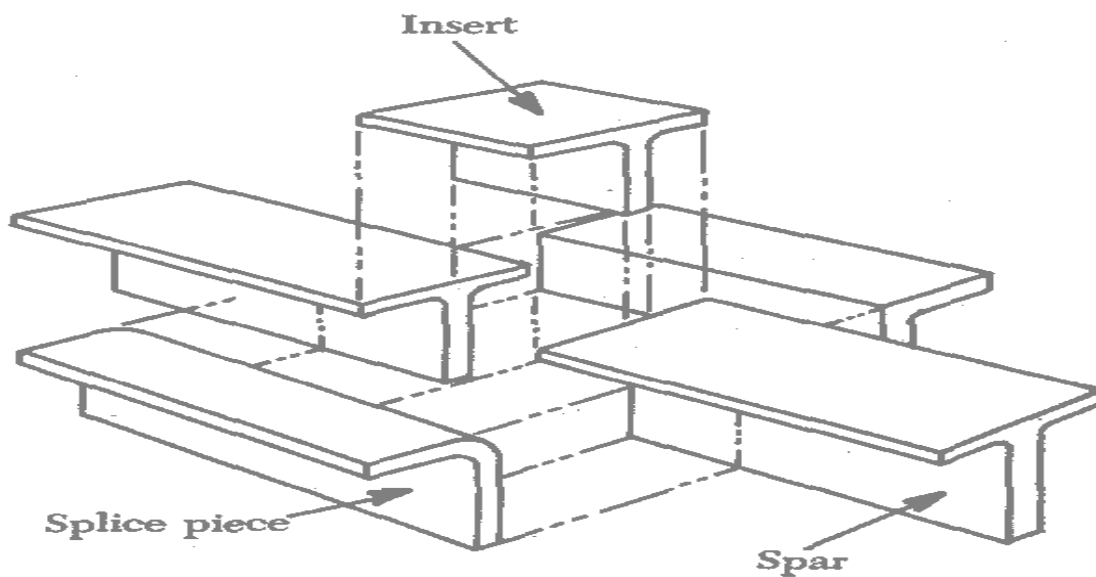
Spar adalah bagian utama yang menahan sayap. Spar merupakan "hub" atau "base" section dan merupakan komponen yang pertama dipasang di sayap dan berikutnya komponen-komponen lain dipasang terhadap spar tersebut baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dikarenakan spar sebagai penahan beban yang berat di sayap, maka pelaksanaan perbaikan harus hati-hati dan senantiasa dapat mempertahankan kekuatan sesuai aslinya. Perbaikan konstruksi spar dibagi dalam 2 jenis : 1) web repair 2) cap strip repair.

Untuk jenis web butt splice repair ,langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut :

- Buang dan bersihkan bagian yang rusak
- Ukur lebar keseluruhan web section
- Hitung jumlah rivet yang dibutuhkan untuk memasang splice
- Siapkan splice yang akan di-insert dengan jenis dan ketebalannya sama dengan web aslinya. Perhatikan gambar 40 !

Berikutnya langkah pengerjaan cap strip repair adalah sebagai berikut :

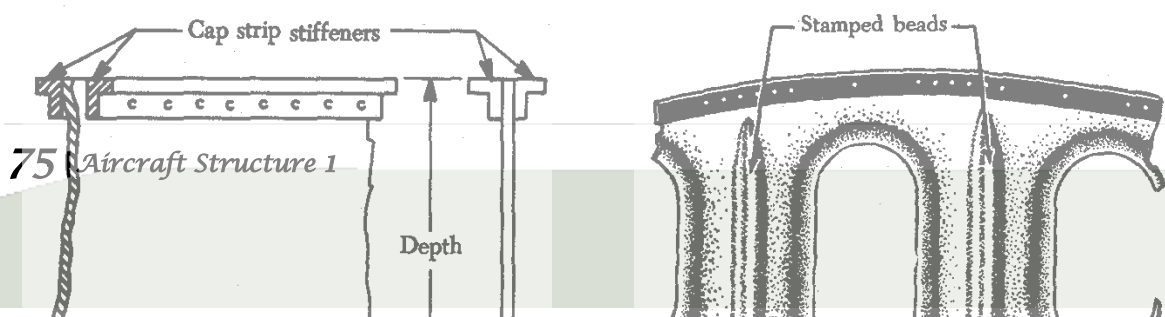
- Buatlah pola pemasangan rivet (riveting layout) pada kertas sama seperti yang terdapat pada web strip.
- Potong splice plate yang akan dipasang dengan berat dan ketebalan sama dengan web aslinya.
- Pindahkan pola riveting layout pada kertas ke splice plate yang akan dipasang

(A) Spar web butt splice

(B) T-spar cap strip repair

Gbr.40. Spar Repair

5. Rib dan Web Repair

Perbaikan rib dan web secara umum digolongkan dalam 2 jenis yaitu :

1. Web section critical , yaitu rib pada sayap (wing rib).
2. Web section less critical , yaitu rib pada elevator, rudder, aileron,flap.

Web section harus diperbaiki dengan menjaga kondisi sesuai kekuatan aslinya.

Gbr.41. Rib repair

6. Leading Edge Repair

Leading edge merupakan bagian depan dari wings, stabilizer atau airfoil lainnya. Tujuan dibentuk leading edge adalah untuk membuat bentuk streamline sebuah airfoil misalnya di wings, control surfaces sehingga aliran udara akan lebih efektif.

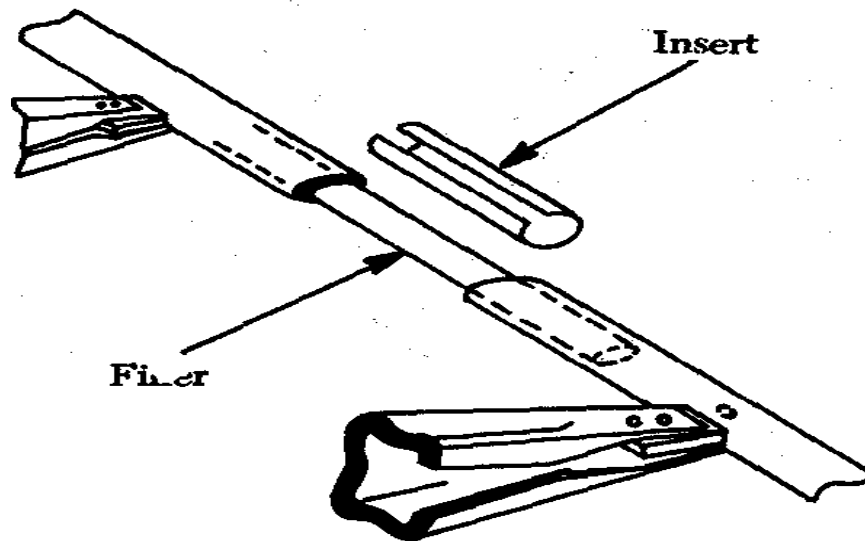
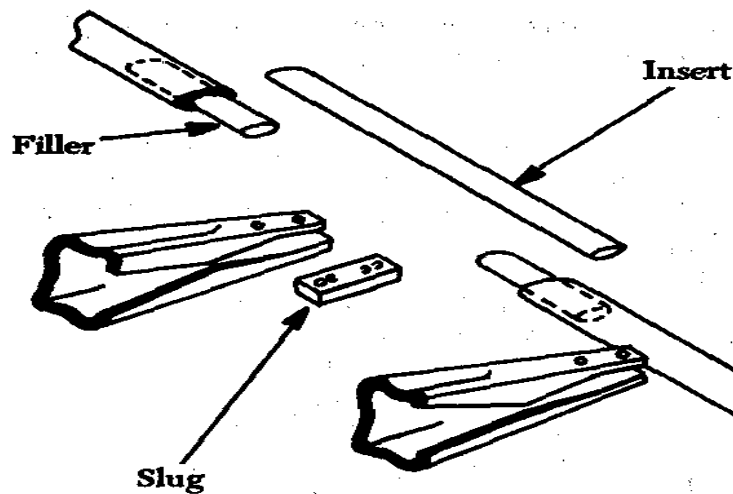
Di dalam ruang leading edge bisa digunakan sebagai tempat bahan bakar, sebagai rumah landing lights, plumbing, thermal anti icing system.

Konstruksi leading edge secara umum terdiri dari : cap strips, nose ribs, stringer dan skin. Kerusakan pada leading edge disebabkan adanya kontak fisik dengan benda lain misalnya dengan kerikil , dengan burung saat terbang atau dengan hujan es/salju.Akan tetapi penyebab kerusakan utama terjadi karena kurang hati-hatinya saat penanganan di ground.

Kerusakan pada leading edge bisa menyangkut kerusakan beberapa bagian komponen misalnya: nose skin ,nose rib ,stringer, atau cap strip. Untuk memudahkan perbaikan di area leading edge maka harus dipasang accesdoor.Langkah perbaikan pertama buang bagian yang rusak , kemudian pasang (insert) komponen pengganti.

7.Trailing Edge Repair

Trailing edge adalah bagian belakang dari sebuah airfoil, bagian tersebut dapat ditemukan di wings, ailerons, rudder, elevators serta stabilizer. Kerusakan pada trialing edge bisa diakibatkan oleh tabrakan , penanganan yang kurang hari-hati atau akibat

adanya korosi. Korosi yang terjadi pada trailing diakibatkan adanya uap lembab atau embun yang terjebak di dalamnya.

Gbr.42. Perbaikan trailing edge antara rib

Gbr.43. Perbaikan trailing edge dekat rib

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam perbaikan :

- Inspeksi kerusakan sebelum memulai perbaikan.
- Ukur panjang kerusakan
- Tentukan jenis /cara perbaikan yang dibutuhkan
- Area yang diperbaiki harus memiliki contour dan bentuk serta kekuatan yang sama dengan kondisi aslinya.
- Mempertahankan karakteristik desain airfoil sesuai bentuk aslinya.

G anakan Perbaikan Pada Kulit dari Kain (skin of fabric)

1. Umum

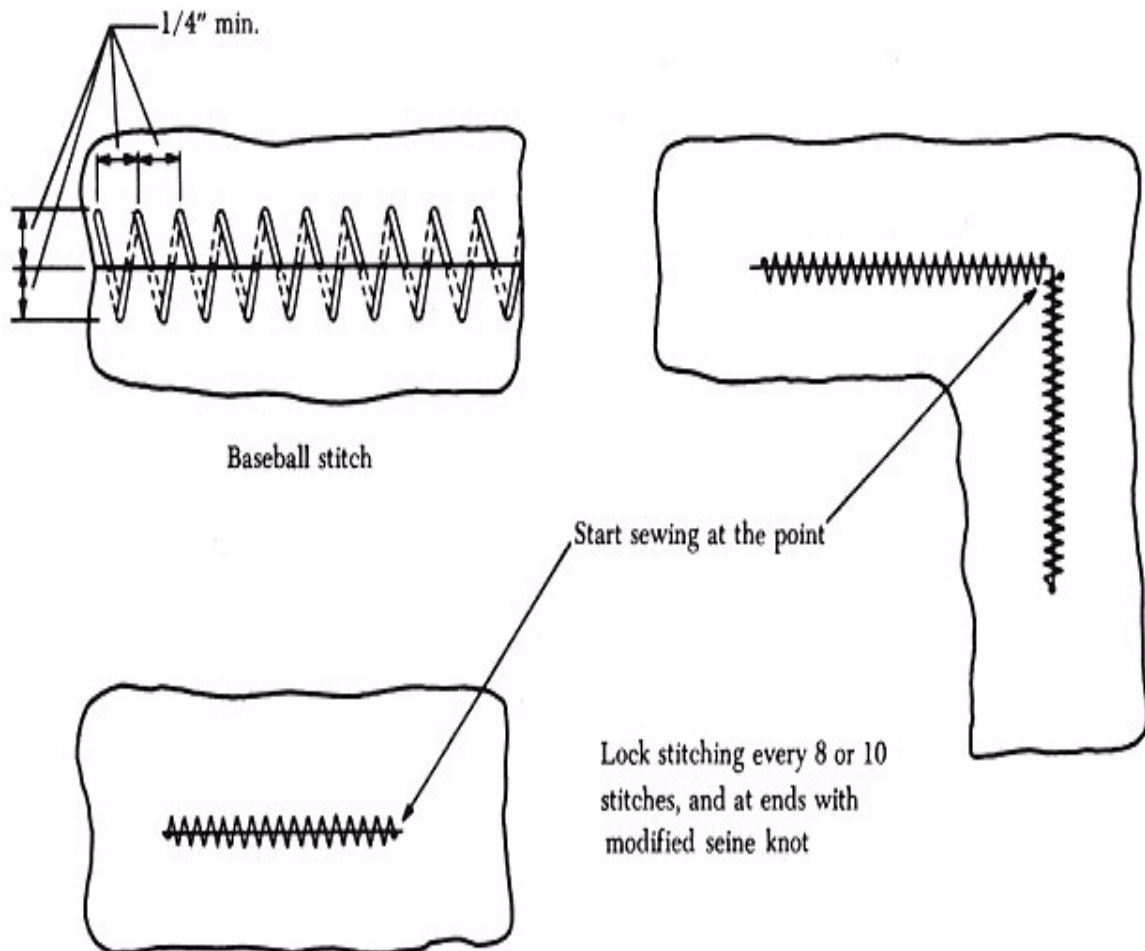
Perbaikan permukaan fabric-covered kekencangan dan kekuatannyaharus sesuaidengan aslinya. Perbaiki semua titik atau celah kebocoran untuk mencegah masukannya embun atau object asing ke bagian dalam struktur . Pekerjaan perbaikandengan cara dijahit dan tidak dijahit diijinkan. Jenis teknik perbaikan yang digunakan tergantung pada tempat dan ukuran kerusakan .

Ketika re-covering atau perbaikan permukaan bidang kendali, terutama untuk pesawat udara yang memiliki unjuk kerja tinggi (high-performance), pekerjaan perbaikan harus tidak menimbulkan penambahan berat/beban.

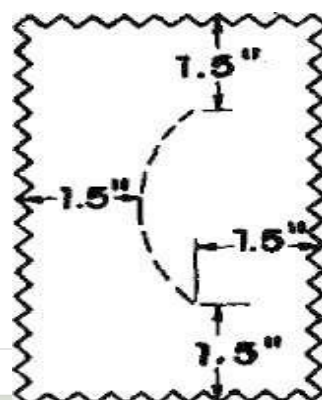
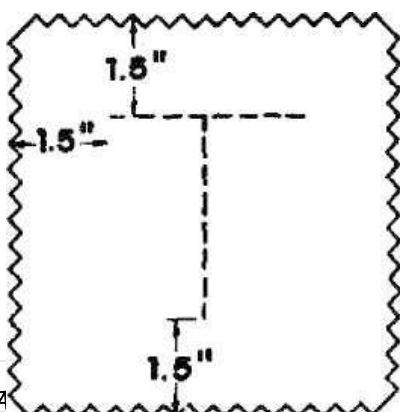
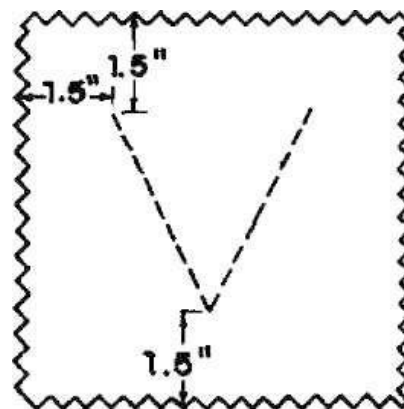
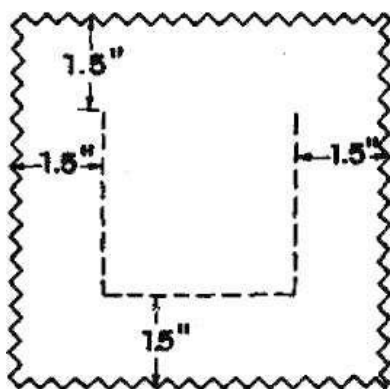
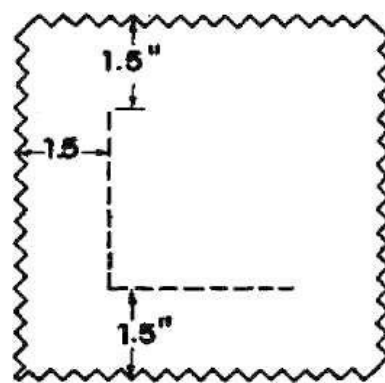
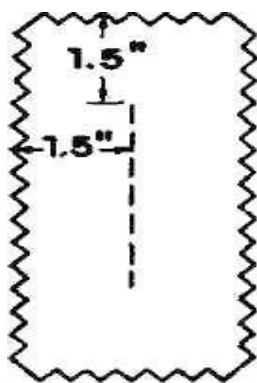
Penambahan berat/beban mengganggu keseimbangan statis dan dinamis pada permukaan yang dapat menimbulkan getaran (flutter).

2.Perbaikan Bagian Yang Sobek

Potongan atau sobekan kecil diperbaiki dengan menjahit bagian tepi bersama-sama dan memberikan dop atau menambal di atas area yang sobek tersebut. Sistem jahit silang Baseball digunakan untuk memperbaiki sobekan. Ilustrasi perbaikan ditunjukkan pada gambar 44 memungkinkan tepi yang rusak untuk ditarik menuju ke posisi aslinya, dengan begitu memungkinkan suatu perbaikan akan lebih ketat dan kuat . Setik silang yang pertama dimulai dengan memasukkan/menyisipkan jarum dibagian bawah sisi. Semua setik silang berikutnya dibuat dengan memasukkan/menyisipkan jarum dari puncak (atas) kemudian ganti dari dasar (bawah) demikian seterunya sehingga poin-poin untuk membuat setik silang dapat dengan teliti dibuat.

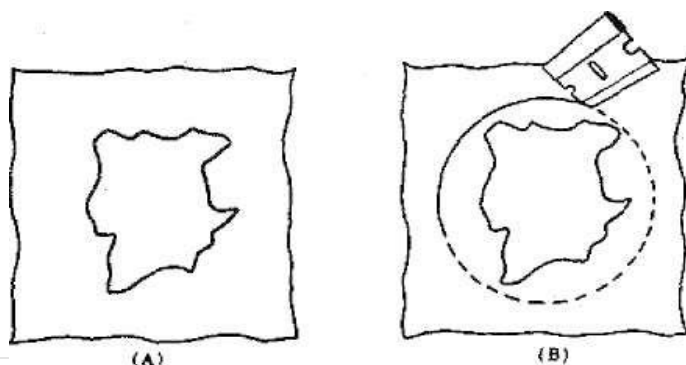
Tepi dijahit bersama-sama menggunakan jahitan model ulir. Setik silang yang terakhir adalah sebagai bagian penahan (anchored) dengan suatu jerat/simpul pukat dimodifikasi. Setik silang harus tidak lebih dari 1/4" dan diperluas 1/4 " ke dalam bagian yang tidak koyak.

Gbr. 44. Perbaikan kain yang sobek

Potong dua tambalan dengan ukuran yang cukup untuk menutupbagian yang sobek, dengan luas sedikitnya 1-1/2 in. di luar sobekan dari segala arah (lihat gambar 45). Kain yang yang digunakan harus kain yang sama kekuatannya dengan aslinya . Tepi tambalan harus dibuat*pinked*atau berjumbai sekitar ¼ in untuk semua sisi. Setiap tambalan diolesi dengan bahan pengencer nitrat atau aseton dan diberikankebagian atas sobekan yang dijahit untuk melepas lapisancat sebelumnya. Tambalan adakalanya lembab dengan menggunakan sikat bersihkan semua lapis/cat dasar atausecarahalus dibersihkan dengan menggunakan pisau. Hanya pada lapisan di bawah tambalan yang

dibersihkan, suatu perbaikan yang halus/ rapi dapat dibuat. Suatu lapisan dope yang bening(clear)sebagai pelapis keduadiberikan pada tambalan dan area kain penutup yang pelapis catnya telah terkelupas. Selagi masih basah, tambalan ini dipasangkansebagaipenutup dan digosok-gosok secarahalusuntuk menghilangkan gelembung udara. Pemberian dope/pelapis clear diberikan sampai permukaan yang ditambal dapat mencapai penampilan dan tegangan yang sama dengan yang asli pada semua permukaan.

Gbr.45 Menambal pada bagian atas Yang sobek (garis strip-strip)

3.Memperbaiki Tambalan Yang dijahit

Kerusakan pada kain penutupdimana tepi sobekanterjadi di luar sambungan atau jika akibat proses pemotongan telah merusakbagian yang diperbaiki pada bagian jahitan suatu kainpenambal . Suatu jahitandiperbaik dengan tambalan jika panjang kerusakannya tidaklah lebih dari 16 indari berbagai arah. Area yang rusak dibentuk dalam bentuk suatu lingkaran (gambar 46) atau dibentuk oval. Sehelaikaindisisipkan dengan luas potong lebih panjang ½ in di luar garis tengah bagian yang akan ditambal. Bgain 1/2-In tersebut dilipat ke bawah sebagai penguat. Sebelum dijahit, ikatkan tambalan tersebut pada beberapa poin-poin dengan beberapa setik silang temporer untuk membantu proses penjahitan.

Bagian tepi kain sisipan dijahit dengan suatu metoda setik silang baseball.Setelah jahitan diselesaikan, bersihkan area kain yang lama untuk dilapisi dope untuk perbaikan yang bocor dan bagian tambalan dengan cara yang teratur. Pasang pita/lembar pembalut di atas permukaan yang telah dilapisi lapisan dope ke dua . Jika bukaan yang rusak luasnya di atas atau harus menutupilebih dari 1 in pada bagian tulang rusuk (rib) atau bagian lain , tambalan harus dipotong dengan luas 3 in di bagian konstruksi tersebut. Setelah jahitan t diselesaikan, tambalan harus diikat kepada rib tersebut suatu bagian yang baru dikuatkan tape. Penguat rib dan penguat tape sebelumnya seharusnya tidak usah dibuka.

Gbr.46. Perbaikan tambalan yang dijahit

Jika permukaan kain penutup rusak dibagian trailing edge atau dibagian lain sebagaimana ditunjukkan pada gambar46A, dapat diperbaiki dengan cara sebagai berikut: Bagian panel yang rusak dilepas, dan bagian yang rusak dipotong dengan bentuk rectangular atau bentuk persegi panjang seperti ditunjukkan gambar46B. Suatu tambalan dipotong dengan ukuran lebih panjang3/4 indari kedua sisi dan tepi bagian bawah bukaan yang dipotong, dan1/2 inlebih panjang untuk bagian atasnya. Tepi tambalan diperkuat dengan melipat ke bawah 1/2in, sebelum dijahit, dan masing-masing sudut diregangkan dan untuk sementara dipegang pada tempatnya dengan T-Pins. Dua sisi dan leading edge, seperti ditunjukkan gambar46C, dijahit pada kainpenutupyang lama dengan tepi yang dilipat sepanjang 1/4in di luar kedua rib.

Bagian atasyang masih terbuka kemudian dijahit. Lapisi tape pembalut dan berikan lapisan dop seperti ditunjukkan gambar 46D, melengkapi/menyudahi perbaikan tersebut.

4. Perbaikan Jahitan Dalam Panel

Ketika area yang rusak melebihi 16 indariberbagai arah manapun , suatu panel baru harus dipasang (install). Lepaskan tape pelapis permukaan dari rib yang bersebelahan dengan area yang rusak dan dari bagian leading edge yang diperbaiki.

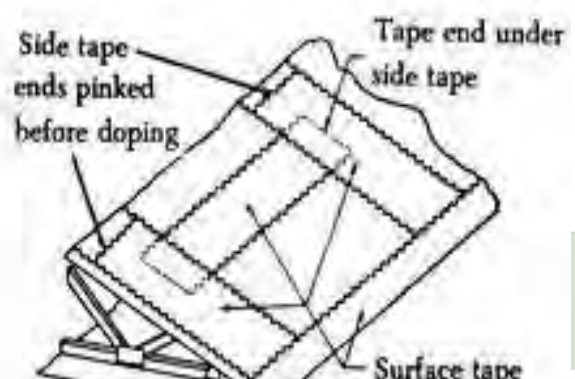
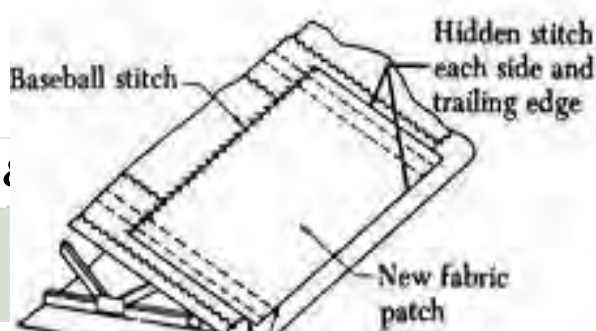
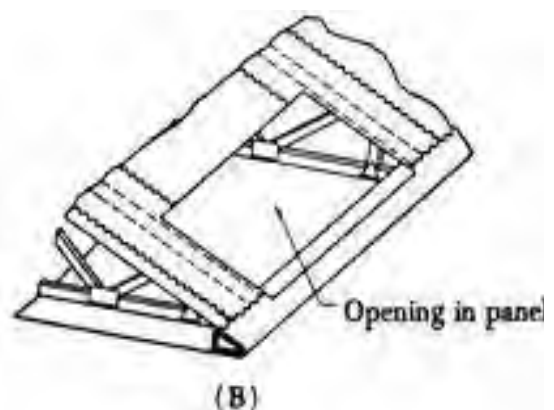
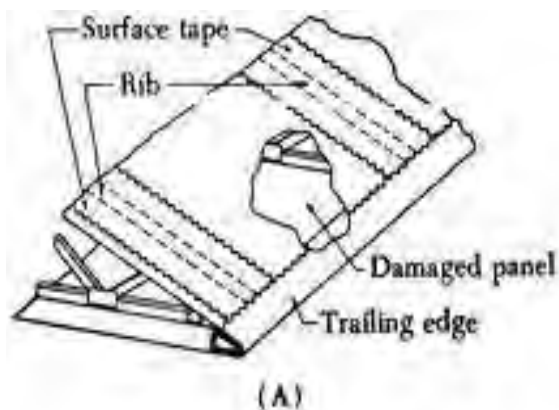
Lepaskan tape penguat lapisan lama dari tempatnya.

Potongkain yang lama sepanjang satu baris kira-kira 1 in dari pusat rib di samping paling dekat dengan kerusakan, dan lanjutkanpemotongan sampai bagian yang rusak dibuang semuanya. Kain yanglama tidak harus dilepas dari leading edge dan trailing edge

kecuali jika kedua kulit penutup permukaan bagian atas dan bawahakandi ganti. Jangan melepastape penguat dan penahan dari rib.

Potong Suatu tambalan secara memanjang dari bagian atas trailing edge dan melintasileading edge dan kebelakangsampai ke bagiandepan balok (beam). Tambalan perlu ditambah panjangnya kira-kira 3 in diluar rib yang bersebelahan denganbagian yang rusak tersebut.Bersihkan area kain yang lamayang akan ditutup oleh tambalan, taruh tambalan pada tempatnya, regangkan , kencang dan rapatkan. Setelah tambalan direkatkan pada tempatnya, lipatkanke bawah bagiantrailing edge dan leading edgeselebar 1/2in dan jahitkankekain yang lama. Lipat tepi sisi ke bawah selebar 1/2in dan jahitkan ke kainpenutup yang lama. Setelah semuanya selesai dijahit, pasang tape penguat di atas rib dengan tegangan sedang dan lipatkan ke bagian bawahribtersebut. Lepaskanpenyemat sementara.

Berikan pada panel dopepelapis warna bening (clear) dan biarkankering. Pasangkan tape penguat dengan lapisan dope keduadi atas tape penguat dan di atas tepi panel . Selesaikan pemberianlapisan pelinding menggunakan dopsecara teratur sesuai prosedur.

Perbaikan dengan cara ini bisa dilakukan untuk menutupkedua permukaan bagian atas dan permukaan bawah dan untuk menutup beberapa bagianrib jika perlu. Panel harus diikatkan ke semua bagian penguat rib .

Gbr.47.Perbaikan panel bagian trailing edge

5.Perbaikan Kain Yang Tidak dijahit

Perbaikan pada kain yang tidak dijahit (doped-on) mungkin hanya dilakukan pada permukaan kain penutup semuapesawat terbang , yang memiliki kecepatan tidak lebih dari 150 m.p.h. Suatu doped-on tambalan perbaikan mungkin digunakan jika kerusakan tidak melebihi 16 in dari berbagai arah. Potong bagian yang rusak, buat suatu bentuk melingkar atau oval ke sekeliling secarahalus. Gunakan suatu bahan pelarut lumas/lemak (grease) untuk membersihkan tepi bukaan yang akan ditutup oleh penambal. Ampelas dope di sekitar tambalan atau bersihkan dengan suatu bahan pengencer dope. Tahankain itu dari dibawah saat diampelas.

Untuk ukuran lubang yang besarnya atas 8 in , buat tambalan kaindengan ukuran yang cukup untuk menutup dan dilebihkan sekitar 2in di sekitar lubang itu. Untukukuran lubang di atas 8 in , buat kain penambal secara tumpang-tindih di sekitar lubang sedikitnya seperempat garis tengah lubang dengan batas maksimum lap 4 in.Jika lubang meluas di atas suatu ribsehingga diperlukan penambal secara tumpang-tindih untukribdan anggota pengikat lainnya, tambalan harus diperluas sedikitnya 3 in di luar ribtersebut. Dalam hal ini, setelah tepi tambalan dilapisi doped pada tempatnya dan

setelah dope mengering, tambalan harus diikat kerib diatas suatu bagian penguatkan tape yang baru . Penahan dan penguat rib yang lama tidak perlu dilepas. Semua tambalan perlu mempunyai bentuk tepi *pinked* atau, jika lembek, harus dilapisidengan pinked-edge tape .

6.Doped-Dalam Perbaikan Panel

Ketika kerusakan melebihi 16 in dari berbagai arah, buat perbaikan dengan memberikan dope di sebuah panel baru. Perbaikan cara ini mungkin dilakukan untuk menutup kedua bagian permukaan atas dan permukaan bawah serta untuk menutup beberapa bagianrib jika perlu. Panel harus diikat ke semua rib penahan, dan harus di dope atau dijahit dengan metoda selimut.

Lepaskan lapisan tape dari rib yang bersebelahan dengan area yang rusak dan dari trailing edge dan leading,edges bagian yang diperbaiki. Lepaskantapepenguat dan penahanyang lama dari tempatnya. Berikutnya potong kain sepanjang satu baris kira-kira 1 in dari rib di samping yang dekat dengan kerusakan dan lanjutkanpemotongan untuk melepaskan semua bagian yang rusak secara keseluruhan. Kain yang lama tidak perlu dilepas dari trailing edge dan leading edge kecuali jika kedua-duanya permukaan bagian atas dan bawahakandiganti bungkusnya.

Potong Suatu tambalan yang mengitari permukaan trailing edget 1in dan melintasileading edge dan kebelakangsampai ke bagiandepan balok (beam). Tambalan perlu ditambah panjangnya kira-kira 3 in di luar rib yang bersebelahan denganbagian yang rusak tersebut.

Sebagai suatu pemasangan alternatif pada kulit kayu atau metal leading edge, tambalan ditempelkan pada kain lama sekitar 4 in di hidung leading edge, berikan dope, rapikan sedikitnya 8in dengan pinked-edge tape .

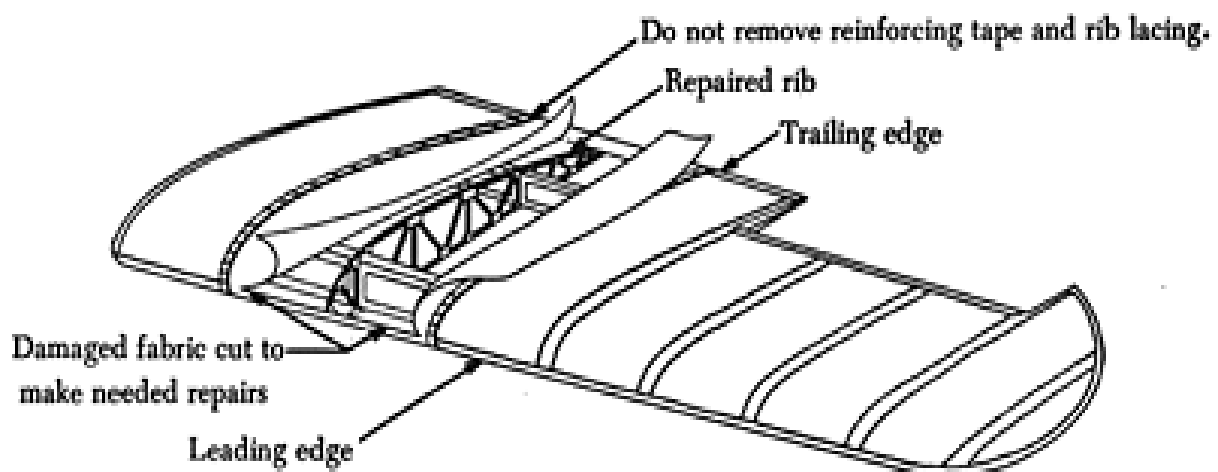
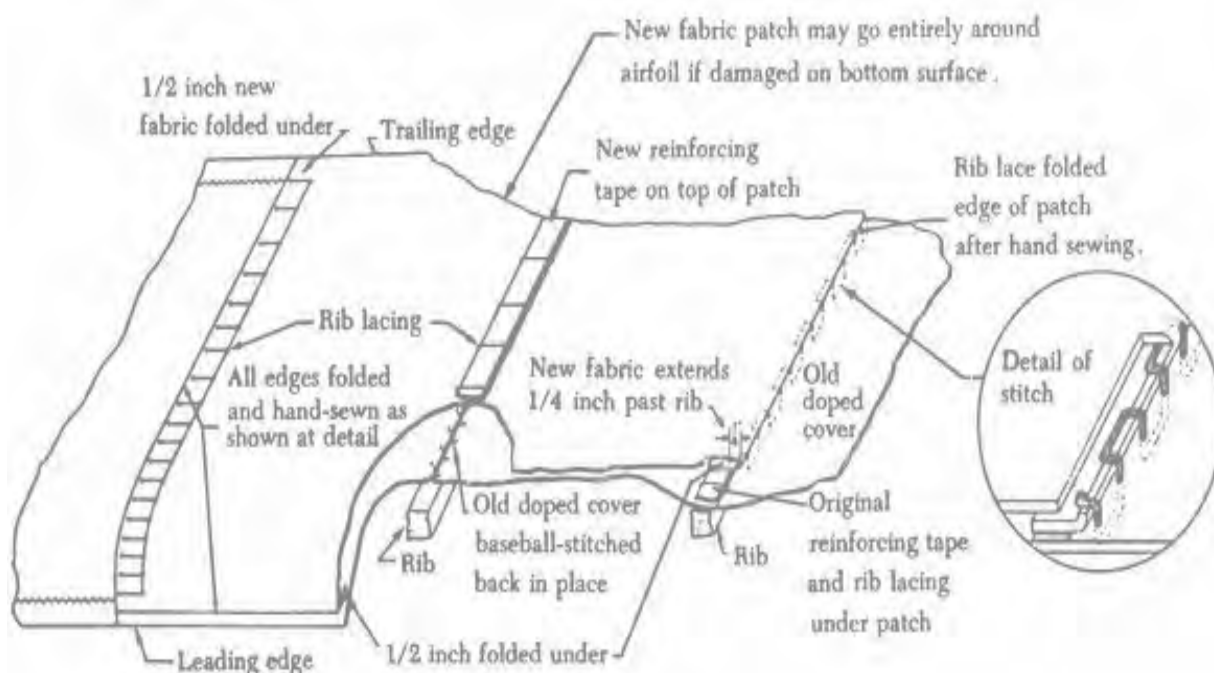
Bersihkan area kain yang lama yang akan ditutup] oleh tambalan dan berikan lapisan dop yang baru pada area ini . Taruh Panel yang baru pada tempatnya, tarikkekencangannya seketat mungkin, dan berikan lapisan dope pada bagian panel yang tumpang-tindih dengan kain yang lama. Setelah itu biarkan dope mengering, selanjutnya berikan lapisan dope kedua pada area yang tumpang tindih dan biarkan kering.

Pasangtapepenguat, dengan tegangan sedang, pada rib dan ikatkankain pada rib.

Berikan pada panel dop clear (transparan)yang bersih dan biarkan kering. Berikan tape penguat dan dope lapisan kedua dengan di atas lapisan tape dan di atas tepi panel . Selesaikan proses pemberian dope menggunakan prosedur yang teratur .

7.MENGGANTIKAN PANEL DI DALAM KULIT PENUTUP SAYAP

Pekerjaan perbaikan bagian struktural memerlukan pembukaan kain penutup. Lapisan Tape dilepas dari rib yang rusak, rib pada sisi lainrib yang rusak, dan sepanjang tepi leading dan trailing edge dan di mana kain akandipotong. Penahanrib dibuka dari rib yang rusak . Kulit coverdipotong sepanjang bagian atasrib yang rusak dan sepanjang trailing dan leading edgeseperti ditunjukkan dalam gambar48.

Untuk menutup bagianterbuka ukuran ini, potong ujung sambungan di atas rib, leading edge, dan trailing edge dengan metoda setik silang baseball dan kain panel baru dijahit di semua area yang diperbaiki . Panel yang baru diperluas antara rib dan dari trailing edgesampaileading edge (gambar 49). Kain yang baru dipotong sedemikian sehingga dapat dilipat ke bawah 1/2 indan membawa 1/4 in di luar rib yang akan dijahit. Trailing dan leading edge dilipat dan dijahit dengan cara yang sama . Setelah panel dijahit pada tempatnya, tape penguat baru diikat di atas rib yang diperbaiki . Kain yang baru diikat pada masing-masing rib yang bersebelahan tanpa menggunakan tambahan tape penguat . Terakhir, semua tape penuat diganti dengan penguat yang baru .

Gbr.48 Membuka cover untuk perbaikan struktur bagian dalam

Gbr. 49 Metoda pemasangan cover

H

BEND ALLOWANCE

Saat menekuk/membengkokan pelat (sheet metal) , bend allowance harus dihitung. **Bend Allowance** adalah panjang material yang dibutuhkan untuk bagian yang dibengkokan dalam proses pembengkokan pelat. Hasil perhitungan bend allowance ini ditambahkan ke panjang keseluruhan metal /pelat yang dibutuhkan dalam pola layout untuk pekerjaan bending.

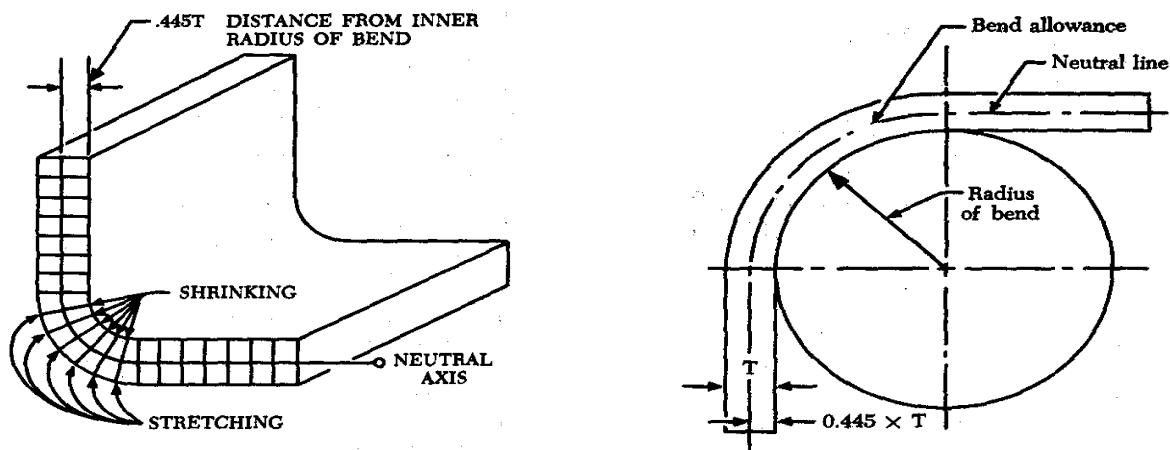
Bend Allowance tergantung pada empat (4) faktor yaitu :

1. Derajat pembengkokan (degree of bend)
2. Jari-jari pembengkokan (radius of bend)

3. Ketebalan sheet metal (thickness of sheet metal)
4. Jenis metal yang digunakan (type of metal)

Radius of bend secara umum proporsional terhadap ketebalan serta jenis dari material yang digunakan, artinya radius pembengkokan bisa dibuat tajam atau tumpul sesuai kondisi bahan. Misalnya apabila katagori material yang digunakan termasuk lunak maka radius pembengkokan bisa lebih kecil atau tajam , dan apabila katagori material yang digunakan termasuk keras , maka radius pembengkokan harus lebih besar (tumpul), dan bend allowance akan lebih besar.

Derajat pembengkokan (tekukan) akan berpengaruh terhadap panjang material yang dibutuhkan secara keseluruhan, dan ketebalan material akan berpengaruh terhadap radius pembengkokan (radius of bend).

Dibawah ini digambarkan ilustrasi konstruksi **bend allowance :**

Gambar 50 . Bending allowance construction

Ada beberapa metoda penentuan bend allowance,yaitu :

1. Metoda perhitungan dengan rumus bend allowance untuk derajat pembengkokan 90°
2. Metoda perhitungan dengan rumus bend allowance untuk derajat pembengkokan antara 1° sampai 180°
3. Metoda dengan menggunakan daftar /digram bend allowance untuk pembengkokan 90° (90° bend chart).

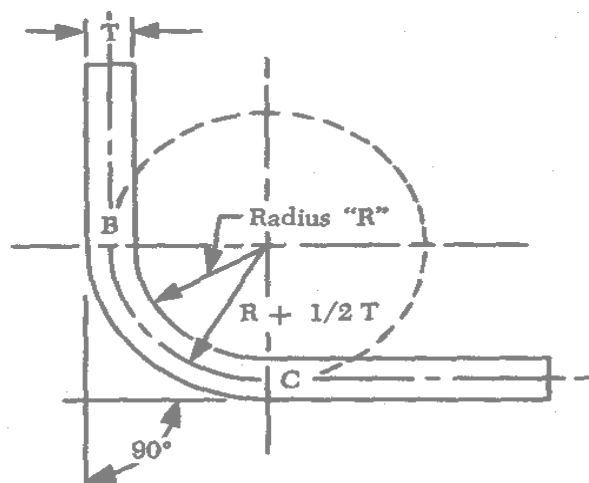
4. Metoda dengan menggunakan daftar /digram bend allowance untuk pembengkokan selain 90° (other than 90° bend chart).

1. Metoda perhitungan dengan rumus bend allowance untuk derajat pembengkokan 90°

Rumus yang digunakan untuk menentukan bending allowance (BA) untuk degree of bend 90°, adalah :

$$\textbf{BA} = \frac{2\pi(R + ½\ T)}{4}$$

Catatan : R = radius of bend

T = thickness of material

Π = 3,1416

Gambar 51. Bending Allowance untuk 90°

Contoh perhitungan :

Diketahui : - radius of bend (R) = ¼ in

- Thickness of material (T) = 0,051 in

Ditanyakan : berapa bend allowance untuk bend of degree 90° ?

Jawab :

$$BA = \frac{2\pi(R + \frac{1}{2}\ T)}{4}$$

$$BA = \frac{2X3.1416\ (0.250 + 1/2X0.051)}{4}$$

$$= \frac{6.2832\ (0.250 + 0.02555)}{4}$$

$$= \frac{6.2832\ (0.2755)}{4}$$

$$= 0.4323\ \text{in.}$$

Maka bend allowance yang dibutuhkan adalah 0,04323 in atau sekitar 7/16 in.

2. Metoda perhitungan dengan rumus bend allowance untuk derajat pembengkokan 1 ° sampai 180°.

Rumus yang digunakan untuk menentukan bending allowance (BA) untuk degree of bend 1° sampai 180°, adalah :

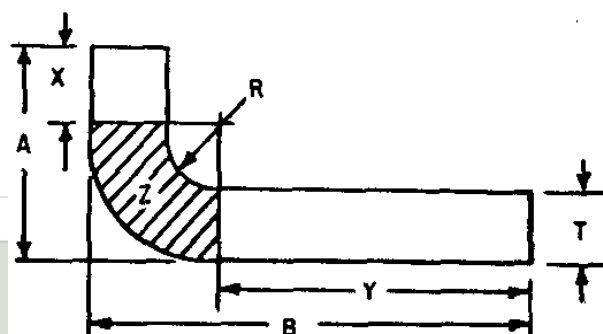
BA = (0,01743 R + 0,0078 T) x N

Catatan:

BA = bending allowance

R = radius of bend

T = thickness of material

N = number of degree of bend

Gambar 52. Bending Allowance description

Berdasarkan gambar.3 di atas, , T = thickness of material, R= radius of bend

$$BA = Z$$

$$X = A – (R + T)$$

$$Y = B – (R + T)$$

Total panjang material yang diperlukan = X + Y + Z

Contoh perhitungan :

Diketahui : - radius of bend (R) = ¼ in

- Thickness of material (T) = 0,051 in
- A = 1 in
- B = 2 in

Ditanyakan : a.berapa bend allowance untuk bend of degree 100° ?

b. panjang total material yang diperlukan ?

Jawab : a. BA = (0,01743 R + 0,0078 T) x N

BA = (0,01743 x 0,25 + 0,0078 x 0,051) x 100

BA = (0,0043575 + 0,0003978) x 100

BA = 0,0047553 X 100

BA = 0,47553 in

b. Total material = X + Y+ Z

X = A – (R + T) = 1 in – (0,25 in + 0,051 in) = 1 – 0,301= 0,699 in

Y = B – (R + T) = 2 in – (0,25 in + 0,051 in) = 2 – 0,301= 1,699 in

Z = BA = 0,47553 in

Maka Total material = 0,699 in + 1,699 in + 0,47553 in = **2,87353 in**

3. Metoda dengan menggunakan daftar /digram bend allowance untuk pembengkokan 90° (90° bend chart).

Untuk dapat menentukan bend allowance , maka Anda harus bisa membaca table dengan benar. Ada tiga referensi utama yang harus dicari /dibaca dalam table tersebut, sehingga kalau interpretasi Anda benar maka hasil pembacaannya akan benar , tiga referensi tersebut adalah :

1. Angka pada kolom (column) table **sisi paling kiri**, menunjukkan **angka ketebalan material (T)** dalam satuan inchi.
2. Angka pada baris (row) table **baris paling atas** , menunjukkan angka **radius of bend (R) ,** dengan dua penunjukkan angka yaitu dalam angka pecahan biasa dan angka pecahan decimal.
3. Angka-angka pada bagian dalam table merupakan angka/nilai Bend Allowance (BA). Perlu diketahui bahwa angka bend allowance dalam kotak bagian dalam table tersebut ada 2 nilai ,posisi di atas dan di bawah , **nilai bend allowance untuk sudut pembengkokan 90° adalah angka yang berada di posisi atas** dalam kotak tersebut. Sedangkan **nilai yang ada pada posisi di bawah adalah untuk nilai bend allowance dengan sudut pembengkokan 1°.**

Untuk lebih jelasnya perhatikan tabel di bawah ini !

RADIUS	OF BEND IN INCHES													
GAGE	1/32 .031	1/16 .063	3/32 .094	1/8 .125	5/32 .156	3/16 .188	7/32 .219	1/4 .250	9/32 .281	5/16 .313	11/32 .344	3/8 .375	7/16 .438	1/2 .500
.020	.062 .000693	.113 .001251	.161 .001792	.210 .002333	.259 .002874	.309 .003433	.358 .003974	.406 .004515	.455 .005056	.505 .005614	.554 .006155	.603 .006695	.702 .007795	.799 .008877
.025	.066 .000736	.116 .001294	.165 .001835	.214 .002376	.263 .002917	.313 .003476	.362 .004017	.410 .004558	.459 .005098	.509 .005657	.558 .006198	.607 .006739	.705 .007838	.803 .008920
.028	.068 .000759	.119 .001318	.167 .001859	.216 .002400	.265 .002941	.315 .003499	.364 .004040	.412 .004581	.461 .005122	.511 .005680	.560 .006221	.609 .006762	.708 .007862	.805 .007862
.032	.071 .000787	.121 .001345	.170 .001886	.218 .002427	.267 .002968	.317 .003526	.366 .004067	.415 .004608	.463 .005149	.514 .005708	.562 .006249	.611 .006789	.710 .007889	.807 .008971
.038	.075 .000837	.126 .001396	.174 .001937	.223 .002478	.272 .003019	.322 .003577	.371 .004118	.419 .004659	.468 .005200	.518 .005758	.567 .006299	.616 .006840	.715 .007940	.812 .009021
.040	.077 .000853	.127 .001411	.176 .001952	.224 .002493	.273 .003034	.323 .003593	.372 .004134	.421 .004675	.469 .005215	.520 .005774	.568 .006315	.617 .006856	.716 .007955	.813 .009037
.051		.134 .001413	.183 .002034	.232 .002575	.280 .003116	.331 .003675	.379 .004215	.428 .004756	.477 .005297	.527 .005855	.576 .006397	.624 .006934	.723 .008037	.821 .009119
.064		.144 .001595	.192 .002136	.241 .002676	.290 .003218	.340 .003776	.389 .004317	.437 .004858	.486 .005399	.536 .005957	.585 .006498	.634 .007039	.732 .008138	.830 .009220
.072			.198 .002202	.247 .002743	.296 .003284	.436 .003842	.394 .004283	.443 .004924	.492 .005465	.542 .006023	.591 .006564	.639 .007105	.738 .008205	.836 .009287
.078			.202 .002249	.251 .002790	.300 .003331	.350 .003889	.399 .004430	.447 .004963	.496 .005512	.546 .006070	.595 .006611	.644 .007152	.745 .008252	.840 .009333
.081			.204 .002272	.253 .002813	.302 .003354	.352 .003912	.401 .004453	.449 .004969	.498 .005535	.548 .006094	.598 .006635	.646 .007176	.745 .008275	.842 .009357
.091			.212 .002350	.260 .002891	.309 .003432	.359 .003990	.408 .004531	.456 .005072	.505 .005613	.555 .006172	.604 .006713	.653 .007254	.752 .008353	.849 .009435
.094			.214 .002374	.262 .002914	.311 .003455	.361 .004014	.410 .004555	.459 .005096	.507 .005637	.558 .006195	.606 .006736	.655 .007277	.754 .008376	.851 .009458
.102				.268 .002977	.317 .003518	.367 .004076	.416 .004617	.464 .005158	.513 .005699	.563 .006257	.612 .006798	.661 .007339	.760 .008439	.857 .009521
.109				.273 .003031	.321 .003572	.372 .004131	.420 .004672	.469 .005213	.518 .005754	.568 .006312	.617 .006853	.665 .008394	.764 .008493	.862 .009575
.125				.284 .003156	.333 .003697	.383 .004256	.432 .004797	.480 .005338	.529 .005678	.579 .006437	.628 .006978	.677 .007519	.776 .008618	.873 .009700
.156					.355 .003939	.405 .004497	.453 .005038	.502 .005579	.551 .006120	.601 .006679	.650 .007220	.698 .007761	.797 .008860	.895 .009942
.188						.417 .004747	.476 .005288	.525 .005829	.573 .006370	.624 .006928	.672 .007469	.721 .008010	.820 .009109	.917 .010191
.250								.568 .006313	.617 .006853	.667 .007412	.716 .007953	.764 .008494	.863 .009593	.961 .010675

Tabel.3. Nilai Bend Allowance untuk 90° dan 1°

Contoh soal:

Carilah nilai bend allowance pada table untuk pembengkokan 90° bila diketahui ketebalan pelat 0,051 in dan radius of bend ¼ in !

Penyelesaian : pertama cari nilai ketebalan pelat 0,051 pada kolom paling kiri, kemudian cari nilai radius of bend ¼ in (0,250 in) pada baris paling atas. Setelah ketemu dua nilai tersebut, **cari nilai bend allowance** dengan cara mencari nilai yang berada pada kotak pertemuan/perpotongan antara baris yang ditempati nilai ketebalan pelat (0,051) dengan kolom yang ditempati nilai radius of bend (1/4 in = 0,250 in). Maka selanjutnya akan

ditemukan kotak pertemuan yang memuat dua nilai yaitu 0,428 dan 0,004756, berdasarkan referensi pembacaan table maka nilai bend allowance untuk pembengkokan 90° adalah " **0,428 in**".

4. Metoda dengan menggunakan daftar /digram bend allowance untuk pembengkokan selain 90° (other than 90° bend chart).

Jika pembengkokan selain 90° , maka **gunakan angka/nilai pembengkokan untuk 1° (nilai yang di posisi bawah) lalu kalikan dengan angka derajat pembengkokan yang dimaksud.**

Rumus : **BA (N) = BA (1°) x N**

Contoh soal:

Carilah nilai bend allowance pada table untuk pembengkokan 120° bila diketahui ketebalan pelat 0,051 in dan radius of bend ¼ in !

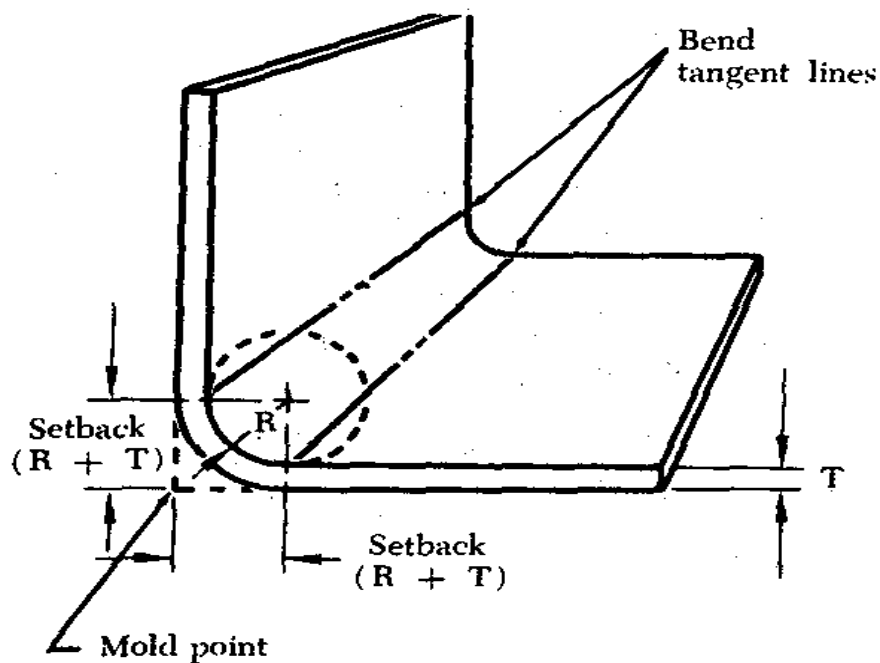
Penyelesaian : pertama cari nilai ketebalan pelat 0,051 pada kolom paling kiri, kemudian cari nilai radius of bend ¼ in (0,250 in) pada baris paling atas. Setelah ketemu dua nilai tersebut, **cari nilai bend allowance** dengan cara mencari nilai yang berada pada kotak pertemuan/perpotongan antara baris yang ditempati nilai ketebalan pelat (0,051) dengan kolom yang ditempati nilai radius of bend (1/4 in = 0,250 in). Maka selanjutnya akan ditemukan kotak pertemuan yang memuat dua nilai yaitu 0,428 dan 0,004756, berdasarkan referensi pembacaan table maka nilai bend allowance untuk pembengkokan 1° adalah " **0,004756 in**". Selanjutnya untuk mendapatkan nilai bend allowance untuk pembengkokan 120° , **kalikan 0,004756 dengan 120.**

Jadi BA (120°) = BA (1°) x 120

= 0,004756 x 120

= **0,570720** in

SET BACK

Saat menekuk (bending) sebuah pelat harus diketahui titik awal dan titik akhir tekukannya, sehingga panjang pelat keseluruhan dapat ditentukan. Dua factor yang penting yang harus diketahui adalah **jari-jari tekukan** (*radius of bend*) dan **ketebalan material/plat** (*thickness of material*).

Gambar 53. Definisi Setback

Berdasarkan gambar di atas , **Set Back** adalah **jarak dari bend tangent line ke mold point** . Mold point adalah titik pertemuan antara garis perpanjangan dari permukaan luar dimana titik bend tangent line berawal dan berakhir .

Rumus set back untuk pembengkokan 90° adalah :

Set back = R + T

Contoh : Hitunglah set back untuk pembengkokan 90° , jika diketahui : T = 0,051 in dan radius of bend (R) 1/8 (0,125) in

Jawab : set back = R + T

= 0,125 + 0,051

= 0,176 in

Rumus setback untuk pembengkokan lebih kecil atau lebih besar dari 90° adalah :

Set back = K (R + T)

Nilai K di cari dalam table " K chart"

Contoh : Hitunglah set back untuk pembengkokan 120° , jika diketahui : T = 0,032 in dan radius of bend (R) 1/8 (0,125) in

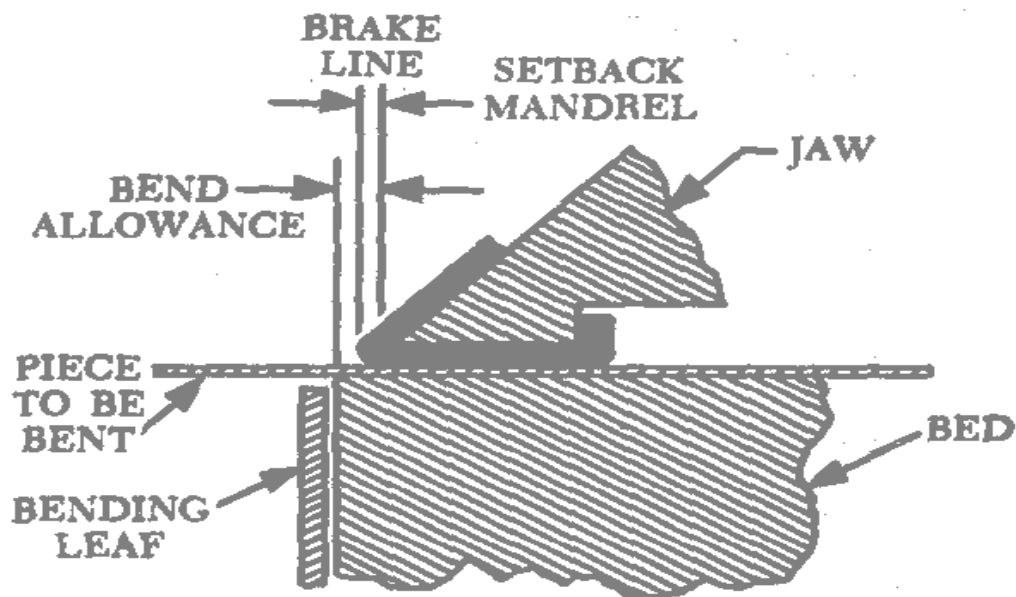
Jawab : set back = K (R + T) ⟶ nilai K untuk pembengkokan 120° berdasarkan table adalah 1,7320 , maka :

set back = 1,7320 (0,125 + 0,032) = 0,272 in

A	K	A	K	A	K
1°	.00873	61°	.58904	121°	1.7675
2°	.01745	62°	.60086	122°	1.8040
3°	.02618	63°	.61280	123°	1.8418
4°	.03492	64°	.62487	124°	1.8807
5°	.04366	65°	.63707	125°	1.9210
6°	.05241	66°	.64941	126°	1.9626
7°	.06116	67°	.66188	127°	2.0057
8°	.06993	68°	.67451	128°	2.0503
9°	.07870	69°	.68728	129°	2.0965
10°	.08749	70°	.70021	130°	2.1445
11°	.09629	71°	.71329	131°	2.1943
12°	.10510	72°	.72654	132°	2.2460
13°	.11393	73°	.73996	133°	2.2998
14°	.12278	74°	.75355	134°	2.3558
15°	.13165	75°	.76733	135°	2.4142
16°	.14054	76°	.78128	136°	2.4751
17°	.14945	77°	.79543	137°	2.5386
18°	.15838	78°	.80978	138°	2.6051
19°	.16734	79°	.82434	139°	2.6746
20°	.17633	80°	.83910	140°	2.7475
21°	.18534	81°	.85408	141°	2.8239
22°	.19438	82°	.86929	142°	2.9042
23°	.20345	83°	.88472	143°	2.9887
24°	.21256	84°	.90040	144°	3.0777
25°	.22169	85°	.91633	145°	3.1716
26°	.23087	86°	.93251	146°	3.2708
27°	.24008	87°	.80978	147°	3.3759
28°	.24933	88°	.96569	148°	3.4874
29°	.25862	89°	.98270	149°	3.6059
30°	.26795	90°	1.0000C	150°	3.7320
31°	.27732	91°	1.0176	151°	3.8667
32°	.28674	92°	1.0355	152°	4.0108
33°	.29621	93°	1.0538	153°	4.1653
34°	.30573	94°	1.0724	154°	4.3315
35°	.31530	95°	1.0913	155°	4.5107
36°	.32492	96°	1.1106	156°	4.7046
37°	.33459	97°	1.1303	157°	4.9151
38°	.34433	98°	1.1504	158°	5.1455
39°	.35412	99°	1.1708	159°	5.3995
40°	.36397	100°	1.1917	160°	5.6713
41°	.37388	101°	1.2131	161°	5.9758
42°	.38386	102°	1.2349	162°	6.3137
43°	.39391	103°	1.2572	163°	6.6911
44°	.40403	104°	1.2799	164°	7.1154
45°	.41421	105°	1.3032	165°	7.5957
46°	.42447	106°	1.3270	166°	8.1443
47°	.43481	107°	1.3514	167°	8.7769
48°	.44523	108°	1.3764	168°	9.5144
49°	.45573	109°	1.4019	169°	10.385
50°	.46631	110°	1.4281	170°	11.430
51°	.47697	111°	1.4550	171°	12.706
52°	.48773	112°	1.4826	172°	14.301
53°	.49858	113°	1.5108	173°	16.350
54°	.50952	114°	1.5399	174°	19.081
55°	.52057	115°	1.5697	175°	22.904
56°	.53171	116°	1.6003	176°	26.636
57°	.54295	117°	1.6318	177°	38.188
58°	.55431	118°	1.6643	178°	57.290
59°	.56577	119°	1.6977	179°	114.590

Tabel 4. Tabel setback "K"

Brake or Sight Line

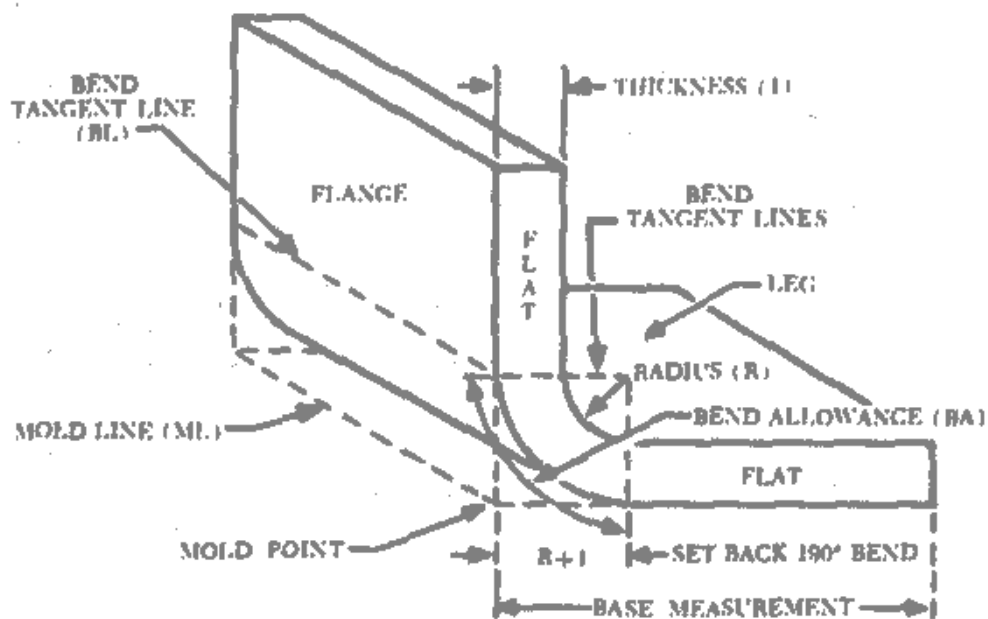
Brake or sight line adalah tanda pada lembaran pelat yang di set bersamaan dengan nose of radius bar dari cornice brake dan berguna sebagai penuntun (guide) didalam proses bending. Brake line dapat ditempatkan dengan mengukur suatu radius terluar dari bend tangent line sampai ujung yang dapat disisipkan ke bawah nose dari brake atau berlawanan dengan radius form block. Nose dari brake atau radius bar harus jatuh langsung di atas brake line atau sight line, perhatikan gambar dibawah ini !

Gambar 54. Penempatan setback-bend line di dalam cornice brake

Istilah-istilah dalam Bending Allowance

Ada beberapa istilah yang digunakan dalam bending allowance yang dilakukan saat pekerjaan bending plate ,antara lain :

- **Leg** adalah bagian terpanjang dalam pembentukan sudut pembengkokan.
- **Flange** adalah bagian terpendek dalam pembentukan sudut pembengkokan.

Catatan : Apabila masing-masing bagian/sisi sama panjang , maka kedua-duanya disebut **Leg**.

- **Mold Line** (ML) adalah garis yang dibentuk dengan menarik perpanjangan garis dari sisi luar leg dan flange.
- **Mold Point** (MP) adalah titik pertemuan Mold Line (ML).

Gambar 55. Istilah-istilah dalam Bend Allowance (BA)

- **Bend Tangent Line (BL)** adalah garis batas awal dan akhir pembentukan/ pembengkokan metal . Semua ruang diantara bentangan bend tangent line ini merupakan area bend allowance.
- **Bend Allowance (BA)** jumlah panjang material yang dibutuhkan untuk bagian yang bengkok(melengkung).
- **Radius (R)** adalah jari-jari bagian dalam permukaan pelat yang dibengkokan/ditekuk.
- **Setback (SB)** adalah jarak antara bend tangent line ke mold point. Dalam pembengkokan 90° nilai SB = R + T, untuk pembengkokan selain 90° nilai SB= K (R+T)
- **Bend line** disebut juga **brake line** atau **sight line** adalah garis layout pada sheet metal yang akan dibentuk ,yang di set terhadap nose of brake, dan berfungsi sebagai penuntun(guide) dalam pekerjaan bending.
- **Flat** adalah bagian dari pelat yang tidak termasuk pada bagian yang dibengkokan. **Yaitu** base measurement dikurangi setback.
- **Base measurement** adalah ukuran terluar dari benda yang dibentuk. Base measurement diberikan pada gambar benda (blueprint) atau diukur dari benda aslinya.
- **Close angle** adalah sudut yang kurang dari 90° saat diukur antara leg, atau lebih dari 90° saat jumlah derajat pembengkokannya diukur.
- **Open angle** adalah sudut yang lebih dari 90° saat diukur antara leg atau kurang dari 90° saat jumlah derajat pembengkokannya diukur.

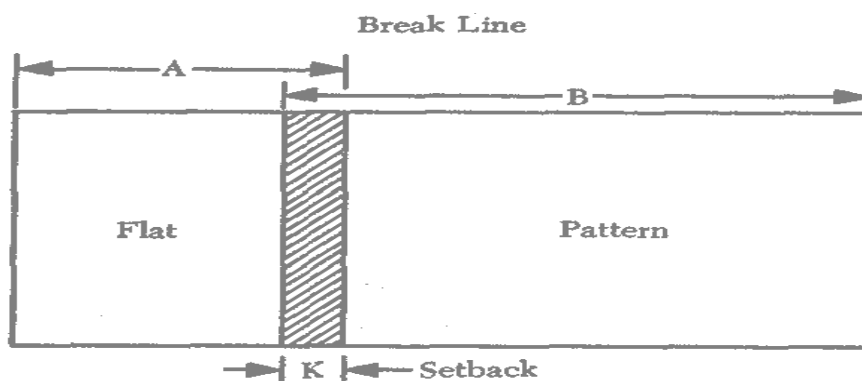
Membuat Layout

Membuat layout atau pola pada bahan sebelum dibentuk adalah cara untuk mencegah terjadinya pemborosan bahan dan untuk mendapatkan ketepatan derajat pembengkokan yang terbaik pada benda jadinya. Dimana kelurusan sudut bending harus diperhatikan,keleluasaan bahan yang tepat harus dibuat untuk set back dan bend allowance. Jika digunakan proses pekerjaan dengan shrinking atau stretching,ketersediaan bahan (allowance) harus dibuat , sehingga part/komponen dapat melengkung/dibengkokan dengan jumlah pembentukan bahan seminimum mungkin.

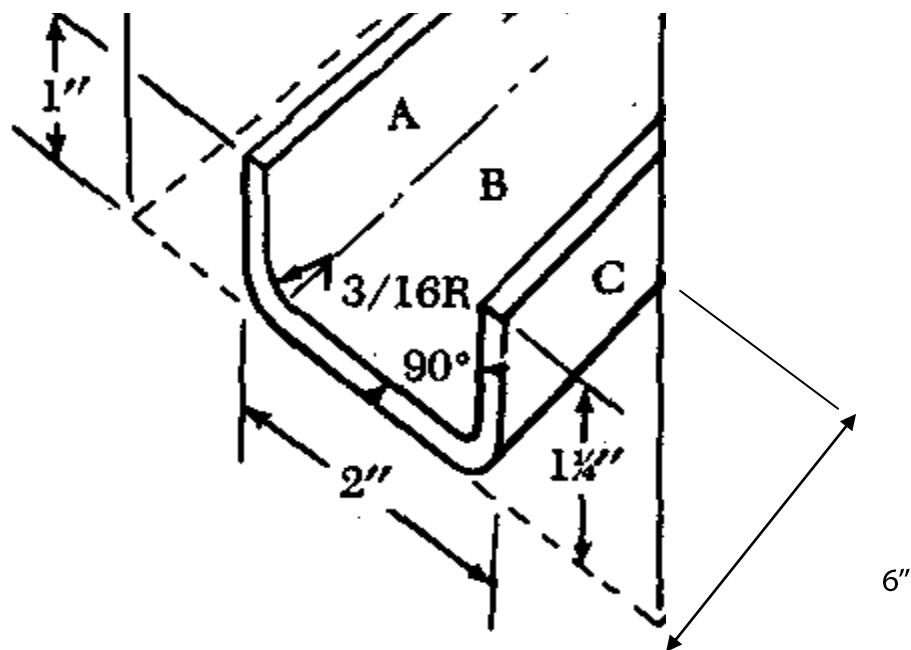
Prosedur pembuatan layout dapat dibagi dalam 3 kelompok yaitu :

1. Flat layout
2. Duplication of pattern
3. Projection through a set of points.

Tiga proses kerja di atas memerlukan pengetahuan tentang aritmetika dan geometri yang baik. Presentasi ini akan membahas hanya dua proses, tata letak datar (flat layout) dan duplikasi pola (duplication of pattern).

Mengacu pada "K" grafik, untuk gambar 55, diketahui bahwa "K" nilai untuk 90 ° adalah sama dengan 1T (ketebalan material). Pengamatan lebih lanjut akan menunjukkan bahwa untuk membentuk sudut kurang dari 90 ° setback adalah kurang dari 1T, untuk membentuk sudut lebih dari 90 ° setback lebih dari 1T. Penggunaan 1T setback di pembengkokan kurang dari 90 ° (sudut terbuka) akan mengakibatkan mengarah dari belokan yang terlalu jauh. Sebaliknya di sudut lebih dari 90 ° dengan kurang dari 1T setback dari flange akan terlalu pendek.

Panjang pola flat adalah A + B dikurangi nilai setback "K"

Gambar 56. Setback

Flat layout dibuat berdasarkan benda kerja yang akan diproduksi, sebagai contoh benda yang akan dibuat adalah seperti gambar dibawah ini :

Diketahui : - Tebal material 0,051 in

- Radius of bend 3/16 in (0,188 in)
- Sudut pembengkokan 90°
- Tinggi A = 1 in
- Lebar B = 2 in
- Tinggi C = 1 ¼ in

Ditanyakan : Berapa panjang bentangan pelat (flat layout) yang harus dipotong ?

Untuk menjawab pertanyaan di atas maka ikuti langkah berikut ini:

1. Menghitung setback untuk mendapatkan panjang Flat

a. Setback untuk bengkokan pertama, **setback** = R+T = 0,188 + 0,051 = **0,239 in**

b. Panjang Flat A sama dengan panjang jarak ketinggian yang diinginkan dikurangi setback (K), **Flat A** = 1in – 0,239 in = **0,761 in**

2. Hitung bend allowance (BA) untuk bengkokan pertama menggunakan table bend allowance (Tabel 1). Dengan diketahui T = 0,051 in dan R = 0,188 in , maka dari hasil pembacaan table 1 tersebut akan didapat nilai **BA = 0,331 in.**
3. Selanjutnya hitung panjang flat B, adalah sama dengan panjang ukuran B dikurangi setback masing-masing ujung atau panjang ukuran B dikurangi 2 setback , maka : **Flat B** = 2 in – (0,239 + 0,239) in

   = 2 in – 0,478 in

   = **1,522 in**
4. Bend allowance untuk bengkokan ke dua sama dengan bend allowance bengkokan pertama yaitu BA = 0,331 in
5. Hitung panjang flat C , yaitu panjang ukuran C dikurangi setback , maka **Flat C** = 1,250 in – 0,239 = **1,011 in**
6. Jumlahkan hasil perhitungan panjang Flat A,B dan C dengan 2 panjang Bend Allowance , hasil penjumlahan tersebut merupakan panjang sebenarnya keseluruhan Flat yang dibutuhkan dalam proses pembengkokan flat.

   Maka panjang **Flat keseluruhan** = Flat A +BA + Flat B + BA + Flat C

   = 0,761 + 0,331 + 1,522 + 0,331 + 1,011 in

   = **3,956 in** atau dibulatkan **4 in**

Apabila kita melihat ukuran benda yang dinginkan , maka secara **perhitungan kasar** dapat dihitung jumlah Flat A + Flat B + Flat C = 1 in + 2 in + 1 ¼ in = **4 ¼ in** . Akan tetapi dengan adanya pengaruh setback dan bend allowance terhadap hasil pembengkokan , maka **panjang Flat sesungguhnya** yang dibutuhkan adalah **4 in**, sehingga ada **pengurangan panjang ¼ in.**

EVALUASI BAB IV

Jawablah pertanyaan-pertanyaan dibawah ini dengan memilih satu jawaban yang benar !

1. Permasalahan yang perlu diperhatikan dalam perbaikan kerusakan A/C structural menyangkut 3 hal pokok yaitu :
   A. duplicating the original part in strenght, kind of material , dimension
   B. kind of material, shape of component, dimension
   C. duplicating the original strength of part, dimension holes, thickness
   D. thickness of material , shape of material, strength of component

E. A/C tools , specific of material , hardware

2. Estimasi terhadap : bentuk dan jenis " patch" , jenis –ukuran – jumlah rivet , kekuatan-ketebalan-jenis material, termasuk step ….
   A. Job estimated
   B. cleanout
   C. sizing up
   D. maintaining of quality
   E. riveting installation

3.The radius of curvature to use a rectangular cutout at each corner, it'smake …
   A. no smaller than 1 ½ in
   B. no larger than 1 in
   C. no smaller than ¾ in
   D. same with 5/8 in
   E. no smaller than ½ in

4. A/C repair dibagi dalam 3 golongan , yaitu …
   A. part of A/C , damage , maintaining strength
   B. sheet metal, composite , welding
   C. brazing , Al alloy , composite
   D. fatique, small crack, stratching
   E. wing , radome, fuselage

5. Yang tidak termasuk " classification of damage ", adalah …
   A. negligible damage
   B. damage repairable by patching
   C. damage repairable by insertion
   D. damage repairable by welding
   E. damage necessitating replacement of part

6. Damage yang tidak mempengaruhi structure integrity pesawat , dan diperbaiki dengan procedure sederhana , disebut …
   A. negligible damage
   B. damage repairable by patching
   C. damage repairable by insertion
   D. damage repairable by welding
   E. damage necessitating replacement of part

7. Scratch yang terjadi pada composite , supaya tidak meluas harus di "sending", tujuannya adalah …
   A. to maintain the countour
   B. to make stress concentration
   C. to release stress concentration
   D. to maintain the strength
   E. to release the strength of material

8. Untuk menghitung jumlah rivet yang dibutuhkan saat melakukan "repairable by patching ", digunakan rumus …

A. $\frac{L \times T \times 7500}{S \text{ or } B}$
B. $\frac{L \times T \times S}{75000}$
C. $\frac{L \times T \times B}{7500}$
D. $\frac{L \times S \times 75000}{T}$
E. $\frac{L \times T \times 75000}{S \text{ or } B}$

9. Jika diketahui L = 2,25 in , T = 0,040 in , S = 331 , B = 410 , maka jumlah rivet yang dibutuhkan adalah …

A. 20
B. 21
C. 22
D. 23
E. 24

10. Untuk pengerjaan pelat allumunium yang tebalnya 0,040 in , maka diameter rivet yang cocok digunakan adalah ukuran …

A. 1 in
B. ½ in
C. ¼ in
D. 1/8 in
E. 1/16 in

11. Alat pengukur panjang grif rivet adalah ...

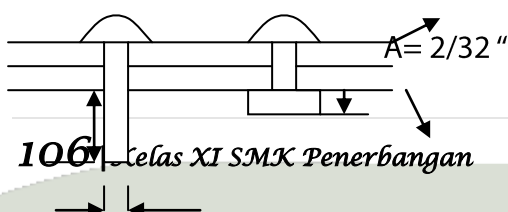
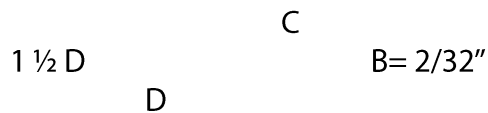
A. rivet gage
B. grif gage
C. straight gage
D. shop head gage
E. microshaver

22. Step-step dalam drilling adalah …

A. deburing , reaming, predrilling
B. reaming , deburing, predrilling
C. predrilling , deburing, reaming
D. predrilling , reaming, deburing
E. predrilling , deburing , boring

C

1 ½ D B= 2/32"

D

Gbr. 1

Untuk soal no 23 – 25 perhatikan gbr.1

13. Total rivet length adalah …
    A. A+ B + 1 ½ D
    B. A + B + C
    C. (A + B) – C
    D. A + B + C + D
    E. A + B + D

14. Besarnya D adalah …
    A. 4/32 "
    B. 5/32 "
    C. 6/32 "
    D. 7/32 "
    E. 8/32 "

15. Tebal kepala baru / shoft head (C) adalah …
    A. 7/32 "
    B. 6/32 "
    C. 5/32 "
    D. 4/32 "
    E. 3/32 "

16. Jarak rivet edge adalah …
    A. 1 – 1 ½ diameter rivet
    B. 2 – 2 ½ diameter rivet
    C. 3 – 3 ½ diameter rivet
    D. 4 – 4 ½ diameter rivet
    E. 6 – 8 diameter rivet

17. Jarak rivet pitch adalah …
    A. 1 – 2 Φ rivet
    B. 3 – 4 Φ rivet
    C. 5 – 6 Φ rivet
    D. 6 – 8 Φ rivet
    E. 9 – 10 Φ rivet

18. Jarak transverse pitch adalah …

A. 75 % of rivet pitch
B. 65 % of rivet edge
C. 55 % of rivet pitch
D. 45 % of rivet edge
E. 25 % of rivet pitch

19. Tujuan utama aircraft repair adalah …
A. mengembalikan kondisi pesawat pada keadaan barunya.
B. mengembalikan kondisi pesawat pada berat aslinya.
C. mengembalikan kondisi pesawat pada keadaan aslinya
D. mengembalikan letak komponen pesawat seperti barunya.
E. membersihkan skin pesawat sesuai keadaan aslinya.

20. Saat melakukan riveting , alat yang dipakai untuk membentuk kepala baru adalah …
A. hammer
B. rivet gun
C. snaper
D. cleco fastener
E. bucking bar

21. Bend Allowance dalam proses bending plate adalah …
A. Panjang pelat keseluruhan yang dibutuhkan untuk bending plate.
B. Lebar pelat yang dibutuhkan untuk bagian pembengkokan
C. Panjang pelat yang dibutuhkan untuk bagian yang akan dibengkokan.
D. Derajat pembengkokan yang dibutuhkan dalam bending plate.
E. Panjang jari-jari dari garis tangent pembengkokan.

22. Bend Allowance tidak dipengaruhi oleh faktor …
A. Degree of bend
B. Radius of bend
C. Thickness of material
D. Type of material
E. Strength of bend

23. Apabila bahan pelat yang digunakan termasuk kategori lunak maka radius of bend …
A. Harus dibuat tumpul
B. Bisa dibuat kecil atau tajam
C. Tidak bisa dibuat tumpul
D. Tidak bisa dibuat tajam
E. Harus dibuat lebih besar

24. Apabila bahan pelat yang digunakan termasuk kategori keras maka radius of bend …
A. Harus dibuat lebih tajam
B. Bisa dibuat kecil atau tajam

C. Tidak bisa dibuat tumpul
D. Harus dibuat lebih besar
E. Harus dibuat lebih kecil

25. Degree of bend akan berpengaruh terhadap… material yang dibutuhkan.
A. Panjang
B. Lebar
C. Tebal
D. Luas
E. Suhu

26. Thickness of sheet metal akan berpengaruh terhadap …
A. Diameter of material
B. Degree of bend
C. Type of material
D. Radius of bend
E. Length of material

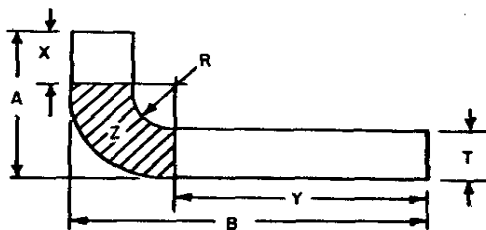
27. Dalam bending allowance construction , bagian yang mengkerut disebut… dan bagian yang meregang disebut…
A. Shrinking , stretching
B. Stretching , shrinking
C. Buckling , denting
D. Crimping , sampling
E. Quenching , melting

28. Rumus yang digunakan untuk menentukan Bending Allowance dengan degree of bend 90° adalah …
A. BA
B. BA
C. BA
D. BA
E. BA

29. Jika diketahui : radius of bend = ¼ in , thicknes of metal = 0,051 in , maka Bending Allowance untuk derajat pembengkokan 90° adalah…
A. 0,0423 in
B. 0,1323 in
C. 0,2423 in

D. 0,3323 in
E. 0,4323 in

30. Rumus yang digunakan untuk menentukan Bending Allowance dengan degree of bend 90° adalah …
A.
B.
C.
D.
E.

31. Perhatikan deskripsi bending allowance pada gambar di bawah ini !

Gambar 1. Bending Allowance Description

Berdasarkan gambar 1. di atas, X sama dengan…
A. A +(R + T)
B. A - (R - T)
C. A + (R - T)
D. A - (R + Z)
E. A - (R + T)

32. Berdasarkan gambar 1.di atas B sama dengan …
A. Y - (R + T)
B. Y + (R + T)
C. Y + (R - T)
D. Y - (R - T)
E. Y + (R + Z)

33. Untuk gambar 1. , jika diketahui R = ¼ in , T = 0,051 in , A = 1 in , B = 2 in , maka BA untuk derajat pembengkokan 100° adalah …
A. 0,17553 in
B. 0,27553 in
C. 0,37553 in
D. 0,47553 in
E. 0,57553 in

34. Dengan data-data yang sama seperti pada soal no.13 , maka panjang total material yang dibutuhkan adalah …
A. 2,87353 in
B. 3,87353 in

C. 4,87353 in
D. 5,87353 in
E. 6,87353 in

35. Saat menekuk sebuah pelat harus diketahui titik awal dan titik akhir tekukannya, dua factor yang penting harus diketahui adalah …
    A. Degree of bend dan thickness of material
    B. Radius of bend dan length of material
    C. Radius of bend dan thickness of material
    D. Degree of bend dan type of material
    E. Type of bend dan thickness of material

36. Set Back adalah jarak dari … ke …
    A. Bend tangent line , mold point
    B. Mold tangent line , bend point
    C. Bending Allowance , mold point
    D. Bend tangent line , center line
    E. Bend tangent line , center point

37. Rumus Set Back untuk pembengkokan 90° adalah …
    A. Set Back = R - T
    B. Set Back = R x T
    C. Set Back = R + T
    D. Set Back = R : T
    E. Set Back = R + 1/2 T

38. Jika diketahui : T = 0,051 in , R = 1/8 in , maka nilai Set Back untuk pembengkokan 90° adalah …
    A. 0,576 in
    B. 0,476 in
    C. 0,376 in
    D. 0,276 in
    E. 0,176 in

39. Rumus Set Back untuk pembengkokan lebih kecil atau lebih besar dari 90° adalah…
    A. Set Back = R (K + T)
    B. Set Back = K (R + T)
    C. Set Back = K (R - T)
    D. Set Back = K + (R + T)
    E. Set Back = K (R x T)

40. Jika diketahui : T = 0,032 in , R = 1/8 in dan K untuk pembengkokan 120° = 1,7320 (berdasarkan table), maka nilai Set Back adalah …
    A. 0,572 in

B. 0,472 in
C. 0,372 in
D. 0,272 in
E. 0,172 in

I. Soal Essay

1. Leg adalah …
2. Flange adalah …
3. Mold line adalah …
4. Close angle adalah …
5. Prosedur pembuatan layout dibagi dalam 3 kelompok yaitu : 1) … 2)… 3) …

DAFTAR PUSTAKA

- AIRFRAME & POWERPLANT MECHANICS AIRFRAME HANDBOOK,US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA), 1976
- AIRFRAME & POWERPLANT MECHANICS AIRFRAME HANDBOOK,US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA), COPY RIGHT BY SUMMIT AVIATION INC., 1992-2006
- AIRFRAME & POWERPLANT MECHANICS GENERAL HANDBOOK, US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA), 1976
- AIRFRAME & POWERPLANT MECHANICS GENERAL HANDBOOK, US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA), COPY RIGHT BY SUMMIT AVIATION INC., 1992-2006